



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE QUÍMICA
CURSO: LICENCIATURA EM QUÍMICA
DISCIPLINA: PROJETO FINAL DE CURSO



A QUÍMICA DO CLORO:
IMPORTÂNCIA, IMPLICAÇÕES
E ELEMENTO MOTIVADOR NO ENSINO DE
QUÍMICA

PROJETO FINAL DE CURSO

por

Debora Araujo Dias

DRE: 104049340

Agosto de 2009

**A QUÍMICA DO CLORO: IMPOTÊNCIA, IMPLICAÇÕES E ELEMENTO
MOTIVADOR NO ENSINO DE QUÍMICA**

Debora Araujo Dias

Monografia submetida ao corpo docente do instituto de química da universidade federal do rio de janeiro como requisito final para a obtenção de grau em licenciatura em química.

Orientado por:

Prof. Roberto de Barros Faria.
Deptº de Química Inorgânica - IQ/UFRJ

Aprovado por:

Prof. João Massena Melo Filho.
Deptº de Química Inorgânica - IQ/UFRJ

Prof. Sérgio de Paula Machado.
Deptº de Química Inorgânica - IQ/UFRJ

RIO DE JANEIRO - RJ / BRASIL

AGOSTO/ 2009

Ficha Catalográfica

Dias, Debora Araujo.

A Química do Cloro: Importância, Implicações e Elemento Motivador no Ensino de Química/Debora Araujo Dias Rio de Janeiro: UFRJ/IQ, 2009.

x, 78 p.:il

(Projeto Final de Curso) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Química, 2009.

Orientador: Roberto de Barros Faria.

1. cloro 2. aplicações 3. implicações 4. abordagem pedagógica 5. Projeto Final de Curso. (Graduação - UFRJ/IQ). 6. Roberto de Barros Faria. I. Título.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a todos
os amantes do ensino de
Química e àqueles que
contribuíram para que eu me
tornasse uma.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

A quem, ao longo de toda esta jornada, requisito constante apoio, por vezes conforto, e cuja presença nunca me falta.

Aos meus pais Maria e Roberto,

Meus primeiros mestres, através dos quais conheci e reconheci o significado do amor. A vocês dedico todas as minhas conquistas, pois são os pilares da construção da minha vida. Tudo o que tenho e o que sou devo a vocês e passarei a vida inteira agradecendo por existirem.

À "família CEDAEana",

Se cheguei até aqui, devo reconhecer, que vocês tiveram responsabilidade, considerável, nisso. Acolheram-me como uma verdadeira família quando saí do curso técnico. Ao longo de seis anos, agregaram-me conhecimento técnico, experiência de vida, ofereceram-me amizade e eu ainda fui paga pra isso. Inacreditável! Foi graças a vocês que eu me apaixonei pelo universo da Química e ingressei neste curso.

Aos meus companheiros de jornada,

Agradeço a todos os meus colegas do curso de Licenciatura em Química pela troca de informações e experiências, em especial, à amiga Nathália com quem formei uma dupla inseparável. Trilhamos juntas o caminho até aqui, muito mais prazeroso ao ser ladrilhado com nossa amizade.

Aos amigos de Farmanguinhos,

Em especial à Cristiane, Eliane e Tathiane, mulheres admiráveis com as quais me sinto privilegiada por poder trabalhar. Sou grata pela paciência, apoio e as palavras amigas de incentivo.

Aos professores do Instituto de Química

Em especial aos professores Sérgio de Paula, Massena, Marchiori exemplos de mestres que me inspiram pelo conhecimento e apreço aos alunos. Ao meu orientador, Faria, por ser também um representante deste grupo e, por ter encontrado espaço na agenda lotada para me ajudar neste processo. Agradeço pelo aprendizado e lhes direciono toda minha admiração.

Aos meus amigos em geral e namorado,

Pelo carinho, estímulo, solidariedade e, principalmente, pela paciência nos momentos de crise.

SUMÁRIO

RESUMO.....	ix
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. OBJETIVO.....	3
III. O CLORO: HISTÓRICO, PROPRIEDADES E DISPONIBILIDADE NA NATUREZA.....	5
1. Efeitos Toxicológicos.....	6
2. Ocorrência.....	7
3. Propriedades.....	9
4. Óxidos de Cloro.....	10
IV. IMPORTÂNCIA E APLICAÇÕES.....	11
V. OBTENÇÃO.....	15
VI. USO DOMÉSTICO: HIPOCLORITOS DE SÓDIO E DE CÁLCIO.....	19
VII. IMPORTÂNCIA DO CLORO NO SANEAMENTO.....	26
1. Princípios da Inativação dos Patogênicos.....	29
2. Agente de Saúde e de Melhoria da Qualidade de Vida.....	30
3. Etapas do Tratamento de Água.....	32
4. Influência sobre a Corrosão das Redes de Distribuição de Água Tratada.....	36
5. Subprodutos da Desinfecção: Formação de Trihalometanos (THM).....	38
6. Alternativas para a Desinfecção.....	41

VIII. IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS.....	43
1. Efeitos sobre a Atmosfera.....	43
2. Efeitos sobre os solo e corpos hídricos.....	46
3. Busca por soluções.....	47
IX. ABORDAGEM DIDÁTICO-PEDAGÓGICA:	
ELEMENTO MOTIVADOR NO ENSINO DE QUÍMICA.....	48
X. CONCLUSÃO.....	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	56
ANEXOS.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1. Algumas características e propriedades do cloro.....	9
TABELA 2. Características de Óxidos de Cloro.....	10
TABELA 3. Ingestão diária de cloro recomendada.....	12

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Soldados na Primeira Guerra Mundial protegidos com máscaras antigas.....	5
FIGURA 2. Administração de oxigênio a soldado intoxicado com gás cloro (Primeira Guerra Mundial).....	5
FIGURA 3. Guerra "del Rif" - Espanha 1921-1927. O cloro também foi utilizado como arma química.....	6
FIGURA 4. Apresentações na natureza do mineral silvita ou silvina.....	8
FIGURA 5. Apresentação na natureza do mineral carnalita.....	8
FIGURA 6. Diagrama esquemático de uma célula de cloro-álcali com membrana trocadora de cátion.....	16
FIGURA 7. Um exemplo do acondicionamento inadequado dos produtos clandestinos.....	24
FIGURA 8. Produtos saneantes coloridos envasados em garrafas PET.....	25
FIGURA 9. Algumas características dos principais compostos de cloro utilizados na desinfecção.....	32
FIGURA 10. Esquema simplificado do processo de tratamento em uma ETA.....	34
FIGURA 11. Visão aérea da ETA Guandu, Seropédica.....	35
FIGURA 12. Foto de tubulação de ferro incrustada pela ação do cloro.....	38
FIGURA 13. Esquema da destruição do ozônio pelo cloro na estratosfera.....	44
FIGURA 14. Gráfico das principais fontes de emissão de dioxinas no mundo.....	47

RESUMO

Os halogênios são importantes em praticamente todas as áreas da química. A química do cloro, sem dúvida, merece destaque, considerando-se suas propriedades, abundância e diversas aplicações no cotidiano das pessoas e na indústria. Sua contribuição, portanto, para o desenvolvimento tecnológico e avanços na área de saúde pública é notória, sobretudo, por ser um forte aliado na manutenção da qualidade de vida e bem-estar social dos indivíduos. Contudo, em se tratando de uma substância química tóxica, há de se considerar as implicações do uso inadequado sobre a saúde e o meio ambiente. Dentro deste contexto de efeitos nocivos, surgem alguns de seus derivados organoclorados, em direção aos quais se concentram as maiores atenções e preocupações da sociedade. Tanto as vantagens quanto as desvantagens da utilização do cloro e de seus compostos, entre outros aspectos abrangidos neste trabalho, revelam-se excelentes elementos motivadores para o ensino de Química, quando numa abordagem pedagógica.

PALAVRAS CHAVE:

Cloro; aplicações; implicações; abordagem pedagógica.

I. INTRODUÇÃO

O conhecimento da utilização de compostos de halogênios data de períodos remotos da história da humanidade. Em aproximadamente 200 a.C., o sal de cloreto de sódio era usado como forma de pagamento, daí a origem etimológica da palavra "salário". Evidências arqueológicas demonstram que, mesmo antes, em 3000 a.C., um sal de halogênio já era utilizado. No entanto, só depois de muitos séculos que os elementos foram obtidos em formas puras (MENDONÇA *et. al*, 2004).

A denominação, do grego "hal" sal e "gen" formar, foi atribuída, inicialmente, ao elemento cloro em 1811, por J. S. C. Schweigger, para descrever as propriedades do elemento, que sempre estava associado a metais, dando origem a sais. Posteriormente, o termo halogênio foi estendido para os outros elementos com características semelhantes ao cloro que, junto a ele, iriam compor o mesmo grupo (VII ou 17) na classificação periódica dos elementos químicos. Os elementos químicos não metálicos desta família, flúor, cloro, bromo, iodo e astato, além de apresentar comportamento químico muito parecido formam compostos com propriedades semelhantes. Todos produzem sais de sódio, sendo o cloreto de sódio (sal de cozinha) o mais conhecido.

Um aspecto determinante sobre a ocorrência natural dos halogênios, corresponde a sua alta reatividade, que explica o fato de serem, raramente, encontrados no estado livre. Apresentam-se, principalmente, como compostos sob a forma de haletos, exceto o astato (At_2) que se apresenta na forma de isótopos radioativos, poucos e instáveis. Esta característica radioativa confere aos compostos de astato

vida efêmera (MENDONÇA *et. al*, 2004). Já muitos cloretos, brometos e iodetos são solúveis e, desta forma, ocorrem em oceanos e em salmouras.

As substâncias simples de halogênios são voláteis; o flúor e o cloro são gasosos, o bromo é líquido e iodo e astato são sólidos. Com exceção do iodo, todos são tóxicos, oferecendo riscos de queimaduras na pele e nas vias respiratórias, podendo ser letais aos organismos vivos quando em quantidade suficiente para tal.

O interesse industrial sobre os halogênios se fundamenta no elevado poder como agentes oxidantes. Os di-halogênios são produzidos comercialmente em grande escala, sendo as produções mais expressivas a do cloro e a do flúor.

Os halogênios e muitos de seus compostos constituem alguns dos mais eficazes agentes bactericidas. Seu principal modo de ação parece depender da reação do halogênio com sistemas enzimáticos-chaves.

O cloro ganha destaque no cenário industrial, no preparo de hidrocarbonetos clorados e em aplicações onde um agente oxidante forte e eficaz é necessário para o branqueamento na indústria de papel e celulose, por exemplo, e na purificação de águas em processos de tratamento.

Estas aplicações, entretanto, têm sido questionadas, pois alguns compostos clorados são carcinogênicos e os hidrocarbonetos clorados podem provocar a destruição do ozônio na estratosfera.

Os halogênios são importantes em praticamente todas as áreas da química. Suas propriedades, abundância e as diversas aplicações no cotidiano das pessoas e na indústria geram uma gama de possibilidades em temas a serem

abordados. Neste trabalho, a discussão será centrada na química do cloro, contemplando aspectos positivos e negativos do seu emprego na indústria e no cotidiano das pessoas.

O documento foi estruturado de modo a traçar um paralelo entre a importância do elemento na manutenção da qualidade de vida e bem-estar dos indivíduos, destacando algumas de suas principais características e propriedades que contribuem para tal, e as implicações indesejáveis sobre a saúde e o meio ambiente. Dentro deste contexto, permitir a integração do Ensino de Química à aplicabilidade do cloro no universo exterior ao ambiente escolar

A relevância desta abordagem está em promover a reflexão e debate sobre a utilização de produtos, reconhecidamente tóxicos, mas que contribuem para o desenvolvimento da sociedade, contanto que o façam de maneira sustentável, respeitando os limites de uso adequado e consciente em detrimento do emprego desmedido que, obviamente, acaba por ir de encontro aos benefícios advindos do mesmo. Afinal, parafraseando Paracelsus, o que diferencia o remédio do veneno é a dose.

II. OBJETIVO

O maior objetivo desta proposta é contrapor vantagens e desvantagens do uso do cloro e de seus compostos, visando à exploração dos aspectos abordados como ferramentas de estímulo ao corpo discente no aprendizado de Química, tendo como premissa a contextualização do ensino.

III. O CLORO:

HISTÓRICO, PROPRIEDADES E DISPONIBILIDADE NA NATUREZA

A descoberta do cloro (do grego *chlorós*: esverdeado) data de 1774, quando um farmacêutico sueco, Carl William Scheele, a partir da reação do ácido muriático (forma impura de HCl) com dióxido de manganês (MnO_2), obteve um gás esverdeado que acreditava ser um composto contendo oxigênio. Lavoisier veio, então, a batizar a nova substância de ácido oximuriático. Na tentativa de decompor o suposto composto, em 1809, os químicos Gay-Lussac e Thénard passaram o gás puro e seco por carbono ao rubro, sem, lograr êxito. Foi apenas em 1810 que o químico inglês Humphry Davy demonstrou se tratar de um elemento químico, e não um composto, e a ele deu o nome de cloro devido a sua coloração.

No século XIX, deu-se início à produção de cloro tendo por finalidade seu emprego como alvejante para roupas e papel e desinfectante. Durante a Primeira Guerra Mundial, no entanto, a utilização do cloro tomou novos rumos. Em 1915, o cientista alemão Fritz Haber propôs usar gás cloro para obrigar as tropas inimigas a sair das trincheiras e aceitar o combate a céu aberto. Definia-se um novo quadro nos combates bélicos, a utilização de armas químicas, na qual o cloro se apresentava como substância química pioneira.

O interesse sobre o cloro para este fim decorre de sua característica tóxica e odor irritante, que ocasiona desconforto pelo ressecamento das vias respiratórias e irritação da vista, podendo, inclusive, ocasionar a morte do indivíduo em caso de exposição a elevadas concentrações do gás. Durante a guerra, os soldados usavam máscaras para

se proteger destes efeitos, como mostram as Figuras 1, 2 e 3.



Figura 1. Soldados na Primeira Guerra Mundial protegidos com máscaras antigás.

(Fonte: primeiragrandeguerra.blogspot.com, 2009)



Figura 2. Administração de oxigênio a soldado intoxicado com gás cloro (Primeira Guerra Mundial). (Fonte: primeiragrandeguerra.blogspot.com, 2009)



Figura 3. Guerra "del Rif" - Espanha 1921-1927. O cloro também foi utilizado como arma química.

(Fonte: historiadeespanapormviso.files.wordpress.com, 2009)

1. Efeitos Toxicológicos

O cloro possui odor bem característico que o torna facilmente detectável no ar em baixas concentrações (0,2 - 0,4 ppm).

Em concentrações de 3 a 5 ppm leva à irritação da vista e das vias respiratórias. A partir de 15 ppm e até 30 ppm, provoca tosse, dor no peito e vômitos. Numa atmosfera contendo 40 ppm, a exposição durante uma hora pode oferecer graves danos como, por exemplo, edema pulmonar. Em concentrações da ordem de 1000 ppm é letal em poucos minutos.

A irritação das mucosas resulta da reação do cloro com a água (umidade dos olhos e do trato respiratório) produzindo ácido (CHLORINE INSTITUTE PANPHLET 90, *et al.* 1999).

O cloro gasoso possui densidade elevada, sendo, aproximadamente, duas vezes e meia mais pesado que o ar. Isto implica, em caso de vazamentos, a uma maior concentração próxima ao local e a uma diminuição com o aumento da distância. Sendo assim, é importante que as pessoas deixem, imediatamente, a área contaminada.

O "cloro líquido", na verdade, hipoclorito de sódio, quando em contato com a pele ou com os olhos pode causar queimaduras.

Muitos estudos de toxicidade crônica têm sido realizados em animais com basicamente os mesmos resultados em mecanismos de resposta fisiológica nos seres humanos. A maioria dos estudos não indica relação significativa entre a exposição crônica a baixas concentrações de cloro e efeitos adversos à saúde.

Níveis de cloro na atmosfera da população em geral são tão baixos que se tornam irrelevantes em termos toxicológicos.

Entretanto, não se podem desqualificar estes efeitos. O cloro é considerado uma substância perigosa e requer cuidados para um manuseio adequado e seguro.

2. Ocorrência

O cloro, nas suas mais variadas formas de apresentação, é um elemento bastante abundante na litosfera, equivalendo em massa a 0,045%. Em virtude de sua elevada reatividade ocorre no estado livre apenas em uma

parcela ínfima de gases vulcânicos provenientes da decomposição de sais marinhos. Geralmente é encontrado na natureza sob a forma de cloretos e cloratos, sobretudo como cloreto de sódio (NaCl) na água do mar, estando presente em depósitos naturais de minerais como a silvita (KCl) (Figura 4) e a carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) (Figura 5).



*Figura 4. Apresentações na natureza do mineral silvita ou silvina
(Fonte: WIKIPEDIA, 2009).*



*Figura 5. Apresentação na natureza do mineral carnalita.
(Fonte: WIKIPEDIA, 2009)*

3. Propriedades

Algumas propriedades físicas e químicas do cloro podem ser observadas na Tabela 1.

Tabela 1. Algumas características e propriedades do cloro.

Nome / símbolo	Cloro / Cl
Classe / série química	não-metal / halogênios
Grupo / período / bloco	17 (VIIA) / 3 / p
Cor e aparência	amarelo esverdeado
Massa atômica	35,453(2) u
Configuração eletrônica	[Ne] 3s ² 3p ⁵
Elétrons por nível de energia	2, 8, 7
Estados de oxidação (óxido)	± 1, 3, 5, 7 (fortemente ácido)
Estrutura cristalina	ortorrômbica
Estado da matéria (normal)	gasoso (não-magnético)
Ponto de fusão	171,6 K (-101,5 °C)
Ponto de ebulição	239,11 K (-34,04 °C)
Eletronegatividade	3,16 (escala de Pauling)
Calor específico	480 J/kg·K

Fonte: WIKIPEDIA, 2009; WEBELEMENTS, 2009

4. Óxidos de Cloro

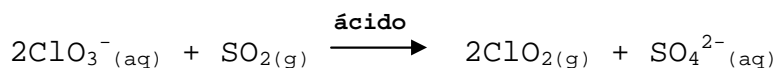
O Cloro ocorre em muitos estados de oxidação diferentes nos seus óxidos:

Tabela 2. Características de Óxidos de Cloro

Número de Oxidação	+1	+4	+6	+7
Fórmula	Cl ₂ O	ClO ₂	Cl ₂ O ₆	Cl ₂ O ₇
Cor	Castanho amarelado	Amarelo	Vermelho escuro	Incolor
Estado	Gás	Gás	Líquido	Líquido

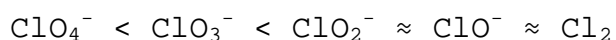
Fonte: Shriver e Atkins, 2003 - Química Inorgânica - A Química Sistemática dos Elementos.

O dióxido de cloro é o único óxido de halogênio produzido em grande escala. É um forte agente oxidante, devendo ser mantido diluído, para evitar decomposição explosiva, e ser consumido no local de produção. A reação para sua obtenção envolve a redução de íons clorato (ClO₃⁻) com HCl (ácido clorídrico) ou SO₂ (dióxido de enxofre) em solução fortemente ácida:



É utilizado principalmente no branqueamento de papel e na desinfecção de esgoto e água potável pelo seu produto de hidrólise HClO (ácido hipocloroso) que reage com matéria orgânica, produzindo, ainda que em baixas concentrações, compostos clorados de carbono os quais são potencialmente carcinogênicos.

Os oxianions são agentes oxidantes fortes. É curioso perceber que, à medida que se aumenta o número de oxidação, decresce a velocidade de oxidação de muitas moléculas e íons pelos oxianions na seguinte ordem:



Um exemplo disto, são soluções aquosas contendo Fe^{2+} e ClO_4^- que podem ser estáveis por muitos meses na ausência de oxigênio dissolvido, em contrapartida uma mistura em equilíbrio de HClO e Cl_2 aquosos rapidamente oxida o íon ferroso.

Outro fator que influencia a velocidade de reação de oxidação é o pH, quanto menor, maior a velocidade.

Isto explica um dos maiores problemas enfrentados pelas Companhias de Saneamento Básico, quando na distribuição de água potável para abastecimento público: o efeito corrosivo do cloro sobre as tubulações da rede de abastecimento.

No capítulo VII, em que será destacada a utilização do cloro no processo de tratamento de água, este efeito corrosivo do cloro sobre as tubulações de ferro da rede de distribuição será melhor abordado.

IV. IMPORTÂNCIA E APLICAÇÕES

O cloro é um elemento essencial para diversas formas de vida. Ele está disponível, sob a forma de íons cloreto, nos líquidos intra e extracelulares, equivalendo a 0,12 % da massa corporal de uma pessoa adulta normal de 70 Kg. É absorvido rapidamente no trato gastrointestinal. O cloro

ionizado, juntamente com o sódio, mantém o balanço aquoso do organismo, sendo de suma importância para a regulação da pressão osmótica. Participa no equilíbrio ácido-base e na manutenção do pH sanguíneo. Quando secretado pela mucosa gástrica como ácido clorídrico ocasiona a acidez necessária para a digestão no estômago e para a ativação de enzimas (BASU et. al, 1996).

Em termos nutricionais, a deficiência de cloreto pode acarretar alcalose metabólica que corresponde ao desequilíbrio entre a produção e excreção de ácidos e bases dos rins. A alcalose ocorre quando há perda excessiva de ácido no organismo e o pH sanguíneo torna-se alcalino. Em contrapartida, quando em excesso, pode levar à acidose metabólica, cefaléia, confusão mental e hiperventilação. Para evitar problemas deste gênero, deve-se atentar para a quantidade a ser ingerida diariamente. A Tabela 3 trata da quantidade recomendada para sua ingestão em termos de íons cloreto.

Tabela 3. Ingestão diária de cloreto recomendada.

RECOMENDAÇÕES NUTRICIONAIS REFERENTES À INGESTÃO DE CLORETO		
INDIVÍDUO	IDADE	QUANTIDADE (mg/dia)
Lactentes	0 a 6 meses	180
	7 a 12 meses	570
Crianças e Adolescentes	1 a 3 anos	1500
	4 a 8 anos	1900
Adultos	-----	1500

Fonte: Dietary Reference Intakes: Recommended Intakes for Individuals Elements, Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies, 2004

A importância do cloro não se limita às questões nutricionais. Em suas mais variadas formas, exerce forte influência sobre a produção industrial, na medida em que se faz presente direta ou indiretamente em diversos processos.

O cloro frequentemente transmite muitas propriedades desejadas a um composto orgânico quando é substituído por hidrogênio (borracha sintética), por isso é amplamente utilizada em química orgânica, na produção de cloratos, clorofórmio, tetracloreto de carbono.

Pode ser empregado na extração de água de bromo, na produção de algumas borrachas sintéticas, estando presente até no processo de refino de petróleo, bem como na fabricação de alvejantes em pó (hipoclorito de cálcio), corantes e explosivos.

O cloro gasoso é de suma importância no processo de tratamento de água. Quando adicionado à água, forma o ácido hipocloroso (HClO), que atua como agente desinfetante (bactericida).

Boa parte do cloro é também empregada na produção de cloreto de vinila, composto inorgânico usado como matéria-prima para a obtenção de policloreto de vinila, conhecido como PVC. Da mesma forma, é utilizado na síntese de numerosos compostos orgânicos e inorgânicos como tetracloreto de carbono (CCl_4), clorofórmio (CHCl_3), diferentes halogenetos metálicos e na preparação de cloreto de hidrogênio puro, ou ácido clorídrico (HCl), obtido por síntese direta: $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$.

Alguns cloretos metálicos são empregados como catalisadores: FeCl_3 , FeCl_2 , e AlCl_3 . O cloreto férrico (FeCl_3) também é utilizado como agente flocculante no processo de tratamento de água. Já o cloreto de mercúrio é utilizado como antisséptico.

Ácido hipocloroso também possui ação alvejante.

O clorito de sódio (NaClO_2), sal derivado do ácido cloroso (HClO_2), é usado para produzir dióxido de cloro (ClO_2), também empregado na desinfecção.

O clorato de sódio (NaClO_3), proveniente do ácido clórico (HClO_3), também pode ser usado para produzir dióxido de cloro, empregado para o branqueamento da polpa na produção de papel, assim como para a obtenção de perclorato.

O ácido perclórico (HClO_4), é um ácido oxidante empregado na indústria de explosivos. Seu sal de sódio correspondente, perclorato de sódio (NaClO_4), é usado como oxidante na indústria têxtil e papaleira.

Muitos compostos organoclorados atuam como pesticidas: para-diclorodifeniltricloroetano (DDT), dieldrin, aldrin, endrin, lindano, clordano, heptacloro, hexaclorobenzeno (HCB), toxafeno.

O tetracloreto de carbono e o tricloroetileno são bastante utilizados como solventes.

A maioria dos compostos organoclorados se configura como poluentes ambientais de elevada toxicidade. É o caso dos clorofluorcarbonetos (CFCs), empregados em aparelhos refrigeradores, dos pesticidas supracitados, dos bifenilpoliclorados (PCBs) e das dioxinas formadas como subprodutos não intencionais em muitos processos industriais nos quais o cloro e seus derivados são produzidos, utilizados e eliminados.

O Capítulo VIII abrangerá a discussão referente às implicações, principalmente no tocante às emissões, destes compostos para o meio ambiente.

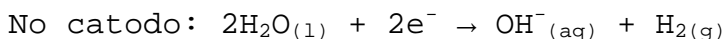
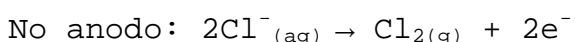
Não obstante a alguns aspectos negativos tangíveis a efeitos sobre a saúde do ser humano ou a impactos

ambientais, é irrefutável a importância dos produtos à base de cloro na indústria automobilística, alimentar, eletrônica (computadores), no tratamento de água, na construção civil e, inclusive, na medicina onde podem ser utilizadas substâncias como hidrato de cloral, de efeito sedativo, e calomelano, de uso tópico como antisséptico, e que representou o primeiro medicamento antissifilítico eficaz.

V. OBTENÇÃO

O método principal de produção do cloro é pela oxidação dos haletos. Seu potencial padrão fortemente positivo, $E^{\circ}(\text{Cl}_2, \text{Cl}^-) = +1,36\text{V}$, indica que faz-se necessário um agente oxidante forte para a oxidação dos íons cloreto, de modo que, somente a oxidação eletrolítica é comercialmente viável (SHRIVER e ATKINS *et. al*, 2003).

Logo, a maior parte do cloro comercializado é produzida pela eletrólise de uma solução de cloreto de sódio em uma célula cloro-álcali (Figura 6). Obtêm-se, neste processo, as seguintes semi-reações de oxirredução:



Nas células cloro-álcali modernas, catodo e anodo estão separados por uma membrana polimérica de troca iônica. A membrana troca cátions e, conseqüentemente, permite aos íons Na^+ migrar do compartimento do anodo para o catodo. O fluxo de cátions mantém a eletroneutralidade nos dois compartimentos pois, durante a eletrólise, carga

negativa é removida no anodo (pela conversão de 2Cl^- a Cl_2) e fornecida ao catodo (pela formação de OH^-). A migração de OH^- na direção oposta também forneceria a eletroneutralidade, mas o OH^- reagiria como Cl_2 prejudicando o processo. A migração dos íons OH^- é suprimida porque a membrana não troca ânions. Um detalhe final do material de membrana é que os átomos de carbono na cadeia principal do polímero são fluorados, de forma que as ligações C-F são resistentes tanto à ação oxidante do cloro como ao nucleófilo OH^- (SHRIVER e ATKINS *et. al*, 2003).

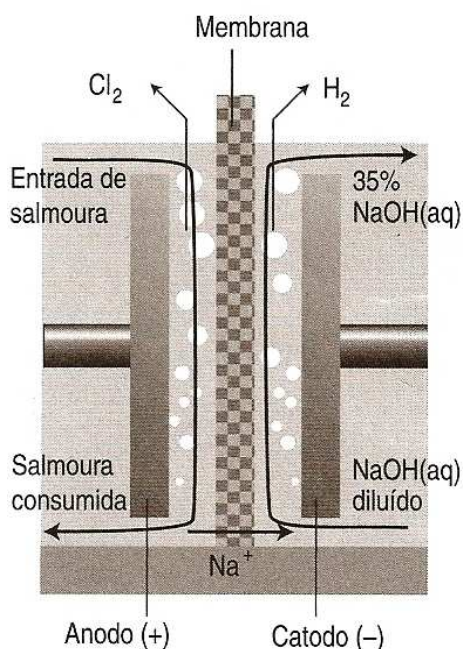


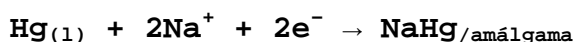
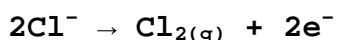
Figura 6. Diagrama esquemático de uma célula de cloro-álcali com membrana trocadora de cátion. (Fonte: Shriver e Atkins, 2003)

Mais de 95% da produção de cloro se dá por este processo, no qual podem ser utilizados três métodos.

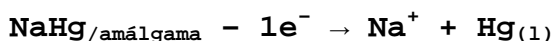
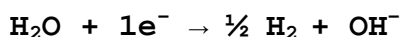
➤ **Eletrólise com célula de amálgama de mercúrio**

Primeiro método utilizado para produzir cloro em escala industrial. Nele é empregado um cátodo de

mercúrio e ânodo de titânio recoberto de platina ou de seu óxido. A célula de eletrólise é recoberta com cloreto de sódio e, com uma diferença de potencial adequada, processa-se a eletrólise:



Procede-se, em seguida a decomposição da amalgama formada para recuperação de mercúrio de modo a permitir sua reutilização. Em presença de água ocorrem as seguintes reações:



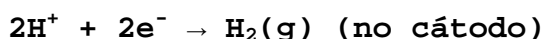
Através deste processo obtém-se um cloro muito puro e soda cáustica muito concentrada (hidróxido de sódio - NaOH) como subproduto, de grande interesse comercial. Contudo, devido aos problemas ambientais ocasionados pela perda de mercúrio (1,3 g de mercúrio por tonelada de cloro produzida) e ao consumo considerável de energia, este processo está sendo substituído pela eletrólise de célula de membrana.

➤ **Eletrólise com célula de diafragma**

Método mais utilizado no Canadá e Estados Unidos, possui o inconveniente de produzir um hidróxido de sódio menos puro e de oferecer riscos associados ao uso de asbesto (composto de cimento com 10 a 15% de amianto, uma substância carcinogênica) - Vide ANEXO I.

Entretanto, em comparação ao de amálgama de mercúrio, consome menos energia.

Neste processo, utiliza-se cátodo perfurado de aço ou ferro e um ânodo de titânio recoberto de platina ou óxido de platina. Ao cátodo se adere um diafragma poroso de fibras de asbesto misturado a outras fibras como o politetrafluoroetileno. Este diafragma separa o ânodo do cátodo evitando a recombinação dos gases formados. O sistema é alimentado constantemente por salmoura (solução de NaCl) que circula entre ânodo e cátodo, onde ocorrem as seguintes reações:



➤ **Eletrólise com célula de membrana**

Método das células modernas de cloro-álcali, é similar ao método no qual se emprega célula de diafragma. Entretanto o diafragma é substituído por uma membrana sintética seletiva que deixa passar íons Na^+ , impedindo a passagem dos ânions OH^- e Cl^- .

A soda cáustica obtida (NaOH) é mais pura e concentrada, entretanto, em relação ao método de amálgama de mercúrio, o Cloro possui um nível de pureza inferior. Estima-se uma produção mundial de aproximadamente 30% deste elemento.

Uma consideração relevante sobre o aproveitamento dos produtos da eletrólise é que além da soda cáustica e do cloro, também o hidrogênio formado é muito importante, uma vez que é utilizado na indústria petroquímica e alimentícia

para hidrogenação catalítica de olefinas e gorduras insaturadas e na produção de margarinas vegetais.

VI. USO DOMÉSTICO:

HIPOCLORITOS DE SÓDIO E DE CÁLCIO

Derivados clorados de origem inorgânica como hipoclorito de sódio e hipoclorito de cálcio contribuem, significativamente, para o controle de doenças de veiculação hídrica e alimentar, principalmente, no âmbito domiciliar.

Na higiene doméstica, ao lidar com alimentos, ou ainda, na desinfecção de piscinas, é fundamental o conhecimento do uso correto dos produtos que melhor combatam os agentes infecciosos. Os fatores que influenciam a escolha de um ou outro produto envolvem disponibilidade, preço, quantidade utilizada e, principalmente, a finalidade de uso.

Cabe ressaltar, portanto, as principais características destes compostos em termos de suas aplicações e apresentação no mercado.

O hipoclorito de cálcio $\text{Ca}(\text{ClO})_2$, por exemplo, embora a maior parte dos hipocloritos seja obtida em solução, existe como sólido no pó alvejante comercial. Por sua vez, este pó, consiste, essencialmente, em uma mistura de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ com cloreto básico ($\text{CaCl}_2 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$) que contém 36 a 38% de cloro disponível. A eficiência alvejante provém do poder oxidante dos hipocloritos de uma maneira geral.

Conhecido também pelas denominações: cloro em pó e cal clorada, o hipoclorito de cálcio é tradicionalmente empregado no tratamento de águas de piscinas. Contudo,

atualmente, as aplicações têm assumido aspectos mais abrangentes na higienização de ambientes onde ocorrem atividades pecuárias, dos próprios animais e no combate a fungos e bactérias que prejudicam o desenvolvimento de árvores frutíferas através da "caiação" de seus caules.

A estabilidade do produto é maior que a do hipoclorito de sódio o qual chega a perder 0,2 a 0,3% de sua concentração por dia, reduzindo, como consequência, o prazo de validade. A obtenção ocorre mediante reação de hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2) com uma solução de hipoclorito de sódio (NaClO).

A concentração de cloro ativo (bactericida efetivo) no hipoclorito de cálcio chega a 65%, o que favorece a logística, operação e utilização do produto.

Em se tratando do hipoclorito de sódio (NaClO), revela-se uma predominância do seu uso no ambiente doméstico. Mas está presente também na desinfecção de locais de produção de laticínios e para assepsia (mão e úbere) na prática de ordenhas.

O composto é produzido industrialmente pela eletrólise de uma solução de cloreto de sódio (salmoura) sem separação entre o catodo e o anodo e a solução formada dever ser mantida refrigerada abaixo de 40°C para evitar a formação de clorato. Pode-se obtê-lo, ainda, pela reação de cloro gasoso com uma solução diluída de hidróxido de sódio.

A lixívia, mais popularmente conhecida como água sanitária, é uma solução diluída de hipoclorito de sódio, numa proporção de 1:5 e estabilizada com cloreto de sódio. É sem, dúvida o mais difundido produto de limpeza doméstica pela ação desinfetante e alvejante para roupas.

Algumas pessoas chamam esta solução de cloro equivocadamente. Ela contém entre 2,0% a 2,5% de cloro

ativo. Sua ação alvejante é potencializada em água quente, devido à decomposição térmica do hipoclorito.

Sob o ponto de vista bacteriológico, tanto o hipoclorito de sódio quanto a água sanitária são deveras eficientes, eliminando muitos microorganismos patogênicos.

Uma questão a ser colocada em voga é a cloração de águas destinadas ao consumo realizada pelo próprio consumidor. Nestas condições, há de se considerar todos os fatores envolvidos neste processo e as consequências que, nem sempre, são de domínio público.

Frequentemente, a população faz uso de poços como alternativa para o abastecimento de água. Nestes casos, podem realizar cloração de impacto com uma solução de 2 % de cloro ativo. Contudo, a alcalinidade da solução de hipoclorito ocasiona a precipitação de minerais presentes na água, levando à obstrução das instalações (encanamento). Além disso, os sólidos formados funcionam como barreiras de proteção à ação do cloro sobre os microorganismos, reduzindo a eficiência bactericida. Também é comum a presença de algumas ferrobactérias em águas subterrâneas (como águas de poços) que, ao serem lisadas pela ação do cloro ativo, liberam ferro o qual, uma vez oxidado pela ação do cloro ativo e/ou pelo ar atmosférico, precipita sob a forma de sólidos férricos.

Acreditando na pureza (potabilidade) de águas de nascentes e poços, populações que não são abastecidas por água tratada, costumam consumi-las sem qualquer tipo de tratamento prévio. Atualmente, a qualidade da água, principalmente, sob o ponto de vista bacteriológico, é cada vez menor. A ocorrência de contaminação destas fontes por ações antropogênicas é uma realidade advinda do progresso e processo de expansão das regiões, tornando cada vez mais

restritas as áreas preservadas, e até a poluição dos lençóis freáticos.

Como mecanismo para adequação da qualidade da água, e, por conseguinte, melhoria da qualidade do indivíduo, faz-se necessário traçar estratégias e programas de orientação neste sentido.

Este tipo de assunto pode ser abordado, até mesmo nas escolas, através de proposições simples. Como, por exemplo, ensinar o aluno a tratar sua água, através da filtração da água com adição de 1 colher de chá de água sanitária para cada 20 litros de água, aguardando 30 minutos de reação antes do consumo. Isto pode promover um excelente debate, sobre a importância e o processo envolvido, proporcionando uma ponte interdisciplinar com a biologia, para falar dos microorganismos, passando pelas reações químicas envolvidas.

A exposição de uma medida simples para o controle da quantidade de cloro que foi agregada às águas de poços e nascentes também se apresenta como um bom gancho para o ensino de química. Um método caseiro para a determinação qualitativa do teor de cloro, é a adição de iodeto de potássio (obtido em farmácias de manipulação), mais cinco gotas de vinagre (preferencialmente branco) e uma "pitada" de amido de milho (maisena) a um copo de água. Uma coloração azul intensa significa que pode haver um excesso de cloro, a ausência de cor corresponde a insuficiência de cloro e uma coloração azul clara revela a presença de cloro, necessário para a garantia da potabilidade da água em termos microbiológicos. Ao ensinar este método, o professor pode explorar as reações de oxirredução envolvidas e os conceitos de análise qualitativa e quantitativa, buscando motivar e despertar o interesse do

aluno através de uma demonstração em sala de aula. Além de agregar conhecimento de química, este tipo de abordagem aproxima o aluno da experimentação e torna palpável a relevância do tema.

Recomendações para o manuseio adequado de produtos como o hipoclorito e orientações quanto a sua toxicidade são também fundamentais como forma de se prevenir acidentes.

A atenção sobre a rotulagem, armazenamento, dosagens adequadas ao uso, aliada à orientação de se evitar misturas do produto com vinagre, ácido muriático (HCl) e com outros produtos de limpeza (levando à liberação de Cl_2), podem ser determinantes na segurança do consumidor.

Estimam-se cerca de 3300 acidentes com necessidade de tratamento hospitalar anualmente por causa do hipoclorito de sódio nos lares britânicos (RoSPA, 2002).

Esclarecimentos sobre a importância de se dar preferência à aquisição de produtos fornecidos por empresas legalmente constituídas é outro fator de prevenção a acidentes, como intoxicação. Vale lembrar que, a pessoa que consome produtos clandestinos pode ser lesada tanto pelo fato dele não conter qualificações necessárias para exercer sua função como pela propensão a causar danos à saúde (INMETRO, 2009). Quem comercializa estes produtos também está exposto a riscos, sobretudo, considerando a forma como são acondicionados (Figura 7).

Segundo estudos da FIPE - Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas, em 2001, a estimativa do mercado informal de água sanitária é de 37,4 %, no município de São Paulo, e 23,1 % no mercado nacional.

O segmento de produtos de limpeza está muito suscetível à concorrência desonesta das empresas informais,

devido ao baixo valor unitário de seus produtos. (INMETRO, 2009).

Um levantamento estatístico feito pelo Centro de Assistência Toxicológica (CEATOX) do Hospital das Clínicas do Estado de São Paulo revela que existem, em média, 54 casos de intoxicação por água sanitária por mês registrados, 483 casos em apenas oito meses (INMETRO, 2004).

No caso de produtos clandestinos, o tratamento para desintoxicar a vítima é ainda mais difícil porque não há informações sobre os componentes da fórmula e que procedimentos devem ser adotados (INMETRO, 2009). Os corantes utilizados para tornar a água sanitária clantestina mais atrativa também podem ser nocivos (Figura 8). As maiores vítimas, nestes casos são as crianças que devido à coloração do produto e ao fato de, na maioria das vezes, estar embalado em garrafas tipo PET, acabam por manipulá-lo e até mesmo consumi-lo.



Figura 7. Um exemplo do acondicionamento inadequado dos produtos clandestinos.

(Fonte: ANVISA, 2009)



Figura 8. Produtos saneantes coloridos envasados em garrafas PET.
(Fonte: ANVISA, 2009)

Mediante o exposto, é possível delinear a importância da educação dos consumidores, por meio de orientação técnica de empresas e órgãos responsáveis ou, mesmo de instituições educacionais que devam vislumbrar no ensino um mecanismo de manutenção do bem estar do indivíduo e da sociedade de uma maneira geral.

Dentro desta conjuntura, ganha destaque o papel das escolas no que envolve o desenvolvimento do senso crítico e da aquisição de um conhecimento aplicável e contextualizado por parte dos alunos. Eles devem ser encarados como elementos veiculadores e disseminadores de informações, muitas vezes desconhecidas ou restritas no ambiente em que vive.

VII. IMPORTÂNCIA DO CLORO NO SANEAMENTO

Dentre as diversas aplicações do cloro a mais notória corresponde ao emprego como agente desinfetante em estações de tratamento de água e esgoto.

O combate a agentes infecciosos de veiculação hídrica data de épocas extremamente remotas, ainda que os princípios envolvidos no processo permanecessem incógnitos. Há indícios de que o uso de água fervida já era recomendado em 500 a.C., mas alguns historiadores julgam que esta prática era adotada desde o começo da civilização (Laubusch, 1971). Até que a teoria dos microorganismos fosse estabelecida (Louis Pasteur, 1880), havia a crença de que as doenças eram transmitidas através de odores. A desinfecção da água e dos esgotos surgiu como uma tentativa de se controlar a propagação das doenças através dos odores (MEYER *et. al*, 1994).

Os processos de desinfecção têm como objetivo a eliminação ou inativação de organismos patogênicos, a fim de promover a potabilidade da água destinada ao consumo ou de adequar os efluentes aos níveis preconizados pela legislação (exemplo: Resoluções CONAMA 357, 274 etc).

Embora recomendações sobre a necessidade profilática da cloração dos esgotos domésticos datem de 1831/1832, somente a partir da constatação empírica em 1854, pelo médico inglês John Snow, da relação intrínseca entre a transmissão do cólera e a água consumida, que o processo de desinfecção começou a se disseminar pelos sistemas de abastecimento de água (BRASÍLIA, 2006). O uso do cloro como agente desinfetante foi aprovado pela American Public Health Association (APHA) em 1886 (MACEDO *et. al*, 2004).

A partir do início do século XIX, algumas regiões dos Estados Unidos já utilizavam este agente químico no processo de desinfecção de águas para abastecimento público (CHAMBERS, 1956). Na Europa sucedeu-se um processo distinto. Há registros do emprego intermitente de compostos de cloro nos sistemas de abastecimento de Maidstone, Inglaterra e Midlekerde, Bélgica, em 1897 e 1902, respectivamente (BRASÍLIA, 2006). Na Bélgica, o uso do cloro só ocorreu com o chamado refinamento da cloração, isto é, determinação das formas de cloro combinado e livre e a cloração baseada em controles bacteriológicos (LAUBUSCH, 1971; MEYER, 1994). Em outra vertente, verificou-se o emprego do ozônio como desinfetante na cidade francesa de Nice, em 1906, embora registros anteriores se reportem à primeira aplicação em águas de abastecimento na cidade holandesa de Oudshoorn em 1893. Nos Estados Unidos, a primeira instalação de ozonização efetuou-se também em 1906, na cidade de Nova York, e em 1987, apenas cinco estações de tratamento empregavam este gás na pré-desinfecção, objetivando a remoção de compostos orgânicos, precursores da formação de trihalometanos passíveis de conferir sabor e odor à água tratada (BRASÍLIA, 2006).

A desinfecção iniciou-se pela aplicação de hipoclorito de sódio e apenas em casos de epidemia, só depois o método foi difundido de forma contínua.

Cabe ressaltar as razões que influenciaram a disseminação do cloro e seus compostos como desinfetantes a partir do século XX:

- No concerne às propriedades organolépticas da água - eliminação de odores e sabores, diminuição da cor (clarificação).
- Auxílio no combate à proliferação de algas e na eliminação e coagulação de matérias-orgânicas.
- Disponibilidade a custo razoavelmente baixo, principalmente, em comparação a outras técnicas de desinfecção como ozonização ou ultravioleta (UV).
- Inativação dos microorganismos em tempo relativamente curto.
- Aplicação relativamente fácil.
- Não oferece riscos ao ser humano em termos de toxicidade na dosagem requerida para desinfecção.
- Estabilidade de residuais que promovem a garantia da manutenção da qualidade da água, sob o aspecto bacteriológico, na rede de distribuição.
- Facilidade na determinação, inclusive pelo método clássico (iodométrico) disponível na época. Embora, atualmente, existam outros métodos (Vide ANEXO II).

Com todas estas vantagens, torna-se explícita a compreensão da disseminação da desinfecção com cloro por todo o mundo.

Ao longo da história pode-se perceber, nitidamente, sua contribuição expressiva na redução da incidência de doenças

de veiculação hídrica e conseqüente aumento da expectativa de vida dos seres humanos.

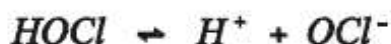
O item 2 deste capítulo destaca a notoriedade da substância como agente de saúde e de melhoria da qualidade de vida.

1. Princípios da Inativação dos Patogênicos

A desinfecção processa-se graças à conjunção de um ou mais dos seguintes mecanismos:

- destruição da estrutura celular do microorganismo;
- interferência no metabolismo, acarretando a inativação de enzimas;
- interferência na biossíntese e no crescimento celular evitando a síntese de proteínas, ácidos nucleicos e coenzimas.

Quando o cloro gasoso é adicionado a uma água quimicamente pura ocorrem as seguintes reações (Degrémont, 1979):



O cloro existente na água sob as formas de ácido hipocloroso e de íon hipoclorito é definido como cloro residual livre (Opas, 1987; Rossin, 1987).

O ácido hipocloroso, presente em equilíbrio com o ânion hipoclorito, devido a carga neutra e ao pequeno tamanho, difunde-se facilmente pela parede celular das bactérias. A mudança no potencial de oxi-redução da célula causada pela presença do ácido hipocloroso desativa a enzima triosefosfato desidrogenase. Esta enzima (ou a gliceraldeído-3-fosfato desidrogenase/GAPDH) é essencial para a digestão da glicose e também é particularmente sensível à presença de agentes oxidantes. Sua inativação destrói com eficácia a habilidade do organismo de funcionar (WIKIPEDIA, 2009).

A ação oxidante do cloro sobre a parede celular bacteriana, leva a sua desestruturação e a uma exposição da membrana celular. Posteriormente, sucede a extrusão dos constituintes vitais da célula - DNA, RNA, proteínas, entre outros - o que acarreta alterações nos processos bioquímicos associados à membrana celular, destruição dos componentes intracelulares e conseqüente morte celular (BRASÍLIA, 2006).

2. Agente de Saúde e de Melhoria da Qualidade de Vida

Embora intervenha direta ou indiretamente em mais de 50% da produção química mundial, componha a formulação de 85% dos medicamentos e esteja presente nos setores de eletroeletrônicos e de autopeças, construção civil, informática, cosméticos, entre muitos outros, é na manutenção do bem-estar da população mundial que reside seu mais ilustre propósito (CLOROSUR, 2009).

A ONU, por meio do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), estabeleceu como uma de suas metas para o milênio reduzir pela metade, até 2015, a parcela da

população sem acesso permanente à água potável segura. No mundo, hoje, 1,1 bilhão de pessoas não tem acesso à água e 2,6 bilhões estão sem saneamento (CLOROSUR, 2009).

Solucionar o problema não requer o dispêndio de altos valores. A simplicidade é o segredo e pode residir num produto disponível, barato e altamente eficaz: o cloro.

Não à toa, o processo de purificação da água por meio da filtração e cloração foi considerado pela revista Veja, edição especial Milênio, como o quadragésimo sexto fato mais notável do século XX e o avanço mais importante do milênio na área de saúde pública (Vide ANEXO III). Nos Estados Unidos, também a revista Life, em 1997, considerou a filtração e a cloração como um dos mais significantes avanços do milênio em saúde pública: *"The filtration of drinking water plus the use of chlorine is plus the use of chlorine is probably the most significant probably the most significant public health advance of the public health advance of the millennium."*

De acordo com especialistas, a utilização do cloro é o método mais eficiente e economicamente vantajoso para garantir a qualidade da água. Ao inibir a proliferação de doenças como cólera, disenteria, febre tifóide, esquistossomose, entre outras, o cloro age como importante aliado para aumentar a expectativa de vida da população humana (CLOROSUR, 2009).

Segundo o relatório da ONU, o mundo poderá salvar um milhão de vidas caso a meta se concretize no prazo estipulado, além de economizar cerca de US\$ 38 bilhões, com a redução de gastos na saúde e o incremento da produtividade (CLOROSUR, 2009).

Por tudo isso o cloro e seus derivados são vastamente empregados durante o processo de tratamento. Algumas

características dos principais compostos de cloro utilizados para desinfecção podem ser observadas na Figura 9.

Principais Compostos e Produtos de Cloro Usados para a Desinfecção de Água						
Nome do Composto	Fórmula Química	% Cloro Disponível	Características	Embalagem	Prazo de Validade	Nome Comercial
Hipoclorito de Sódio	NaOCl	10% — 15%	Solução aquosa, alcalina, de cor amarelada, límpida e de odor característico.	Recipientes opacos de materiais compatíveis com o produto. Volumes variados.	1(um) mês. Decompõe-se pela luz e calor, deve ser estocado em locais frios e ao abrigo da luz.	Hipoclorito de Sódio.
Hipoclorito de Cálcio	Ca(OCl)_2	Superior a 65%	Coloração branca, pode ser em pó ou granulado.	Recipientes plásticos ou tambores metálicos com revestimento.	6 meses	Hipoclorito de Cálcio.
Cloro	Cl_2	100%	Gás liquefeito sob pressão de coloração verde amarelado, e de odor irritante.	Cilindros verticais de aço de 68Kg e horizontais de 940Kg.		Cloro Gasoso.
Cal Clorada	CaOCl	35% — 37%	Pó branco.	Embalagens de 1 a 50 quilogramas. Sacos de polipropileno. Manter em local seco e ao abrigo da luz.	Pouco estável. Perda de 10% no teor de cloro ativo a cada mês.	Cloreto de Cal.
Água Sanitária	Solução aquosa à base de hipoclorito de sódio ou de cálcio.	2% — 2,5% durante o prazo de validade.	Solução de coloração amarelada.	Embalagem de 1 litro, plástico opaco.	Verificar no rótulo do produto.	Água sanitária ou Água de lavadeira.

Figura 9. Algumas características dos principais compostos de cloro utilizados na desinfecção. (Fonte: FUNASA, 2004)

3. Etapas do Tratamento de Água

Os primeiros processos de tratamento de água limitavam-se à sua desinfecção, visto que os mananciais utilizados para captação possuíam elevada qualidade,

estando localizados em áreas protegidas de fontes de contaminação expressivas.

Com o progresso sócio-tecnológico, surgiram os problemas advindos das ações antropogênicas. Efluentes industriais eram despejados nos rios sem qualquer tratamento, tal como esgoto e lixo domésticos, problemas que se perpetuam até hoje. A partir daí, a adequação da qualidade da água, segundo padrões de potabilidade pré-estabelecidos, passou a exigir um tratamento mais intenso.

Uma Estação de Tratamento de Água (ETA) convencional abrange várias etapas que são ilustradas pelo esquema da Figura 10. São elas:

- **Captação:** estrutura projetada para a retirada de água do manancial.
- **Coagulação e Floculação:** etapa de clarificação na qual são adicionados agentes floculantes (FeCl_3 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$) para remoção de partículas suspensas na água através da formação de flocos aos quais se agregam para serem separadas da água. Boa parte da carga microbiana e mesmo de metais pesados é removida nesta etapa e na subsequente.
- **Decantação:** ocorre em tanques, chamados decantadores, por onde a água passa numa velocidade menor para que os flocos formados anteriormente se depositem no fundo e a água limpa escoie pela superfície.
- **Filtração:** passagem da água por filtros que contêm várias camadas (areia fina, carvão mineral e pedras

arredondadas) que retêm as partículas que passaram pela decantação.

- **Desinfecção:** adição de cloro para garantir a eliminação de bactérias após o tratamento e durante a distribuição da água até às residências e outros locais.
- **Ajuste de pH:** etapa na qual se adiciona cal virgem à água para manter o pH numa faixa ideal que ocorram problemas de corrosão e incrustação nas tubulações da rede de distribuição de água.

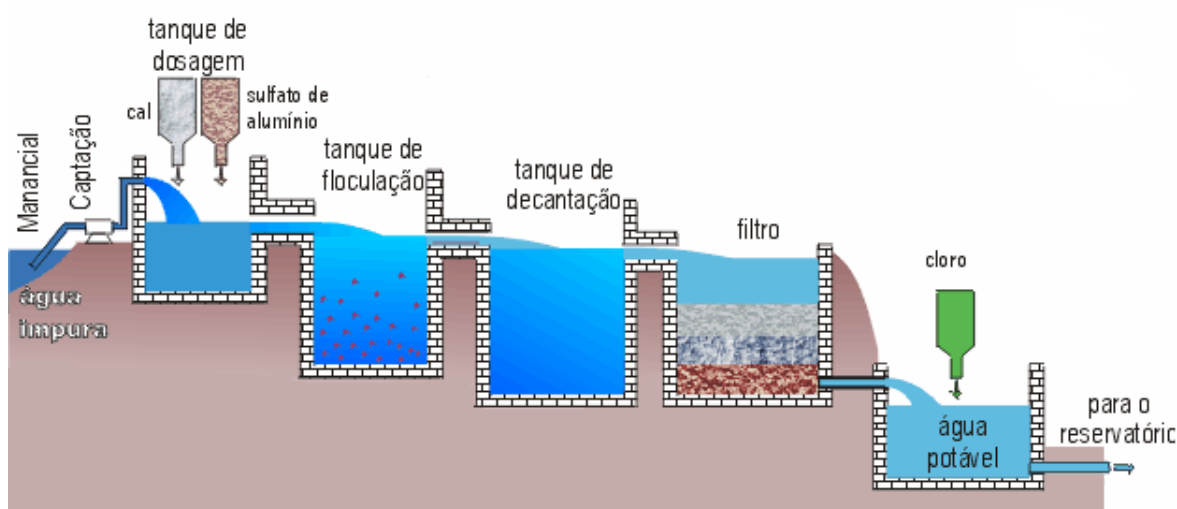


Figura 10. Esquema simplificado do processo de tratamento em uma ETA.

Algumas ETAs, como por exemplo a ETA GUANDU - maior estação de tratamento de água do mundo (Guinness Book, 2007) - (Figura 11), responsável pelo abastecimento de cerca de 85% da região metropolitana do Rio de Janeiro e 70% dos municípios da Baixada Fluminense, além das etapas supracitadas, também realizam a fluoretação da água. Através da adição do ácido fluorsilícico (H_2SiF_6),

pretende-se, como medida de contribuição à saúde pública, prevenir ou até combater a incidência de cárie na população.

Esta estação trata 43.000 litros de água por segundo, abastecendo 9 milhões de habitantes. Para efetuar o tratamento, são gastos, diariamente, uma média de 100 toneladas de sulfato de alumínio e cloreto férrico e 200 quilos de polieletrólito (utilizados na etapa de floculação), 20 toneladas de cal virgem (para ajuste do pH da água) e 15 toneladas de cloro gasoso (responsável pela desinfecção da água).



Figura 11. Visão aérea da ETA Guandu, Seropédica.

De uma maneira geral, houve um aumento na demanda de cloro necessária para a desinfecção. Este fato pode ser explicado pelo processo progressivo de degradação dos mananciais utilizados como fontes de captação para o tratamento da água de abastecimento público.

Dentro deste contexto, cabe ressaltar a importância da educação ambiental e sanitária para o desenvolvimento sustentável das regiões. A comunidade precisa ser educada e alertada constantemente para a questão da preservação do meio ambiente que só traz efeitos benéficos sobre a qualidade de vida e bem-estar social.

As condições dos sistemas de água e esgoto afetam proporcionalmente os custos dos serviços, de modo que os gastos com tratamentos e reparos incidem sobre os valores cobrados aos usuários. Se o apelo ecológico não for suficiente, ao menos o aspecto econômico poderá intervir sobre as ações antropogênicas.

4. Influência sobre a Corrosão das Redes de Distribuição de Água Tratada

A aplicação do cloro à água gera alguns inconvenientes. Um deles, configura-se como um desafio às empresas de saneamento por acarretar, a longo prazo, um dispêndio financeiro significativo no tocante à manutenção das redes de distribuição. Em virtude do seu elevado poder oxidante, já tantas vezes mencionado, este produto contribui para a corrosão das tubulações.

Os valores de pH são mantidos nas águas de abastecimento, de maneira geral, por volta de 6,0. Valores desta ordem, considerados baixos, favorecem a velocidade das reações de oxidação que comandam a ação desinfetante do cloro residual livre (HClO). Contudo, ocorre, simultaneamente, a oxidação do ferro das tubulações, desencadeando um processo de deterioração das mesmas.

Este fenômeno acaba por se refletir sobre a qualidade da água destinada ao consumo humano, gerando insatisfação

dos consumidores e repulsa pelo aspecto e odor característico de "ferrugem".

Tal como a alteração das características organolépticas da água, na medida em que o ferro presente agrega cor, sabor e odor, pode haver uma redução expressiva da eficácia da desinfecção, no caso de uma recontaminação da água.

O ferro oxidado pelo ácido hipocloroso fica tanto disponível sob a forma de hidróxidos insolúveis como forma incrustações. Os sólidos, quando suspensos na água, funcionam como uma "barreira protetora" para os microorganismos, que por ventura estejam presentes, diminuindo a superfície de contato para efetivação da ação do agente desinfetante. Nestes casos, faz-se necessário um aumento das dosagens de cloro nas unidades de recloração, dispostas em pontos estratégicos em todo o sistema de abastecimento.

Os prejuízos para as companhias de saneamento básico tornam-se inúmeros e a população, questionando a qualidade da água, acaba recorrendo a outras alternativas de consumo de água. Por vezes o consumidor acaba colocando em risco sua saúde e a de sua família ao optar por águas de poços ou em garrações sem certificado de garantia, na medida em que a potabilidade destas águas possa estar comprometida.

Visando à minimização desta problemática, muitas tubulações de ferro galvanizado vêm sendo substituídas por tubulações de PVC. Mas esta medida, além de um custo elevado, pode ser inviável, em se tratando de tubulações de alto calibre, como as adutoras de água tratada.

Uma forma de remediar o efeito corrosivo, envolve a adição de um produto químico na rede de distribuição, o ortopolifosfato, que remove as incrustações de ferro

formadas, provenientes do acúmulo de ferro, e produz um filme protetor na superfície das tubulações (SANEPAR, 1997) (Figura 12).

Outra forma de solucionar o problema, é a elevação do pH da água para 8,5, promovendo a formação de carbonato de cálcio que acaba por se depositar na superfície da tubulação promovendo a formação de uma película que impede a ação do cloro sobre o ferro.



ANTES DA ADIÇÃO DE ORTOPOLIFOSFATO

DEPOIS DA ADIÇÃO DE ORTOPOLIFOSFATO

Figura 12. Foto de tubulação de ferro incrustada pela ação do cloro.

5. Subprodutos da Desinfecção: Formação de Trihalometanos (THM)

Um outro problema ocasionado pela utilização do cloro na desinfecção de águas, que afeta diretamente a saúde da população abastecida, é a formação de subprodutos da cloração.

A reação do cloro com matéria-orgânica, produz compostos organoclorados, principalmente, hidrocarbonetos clorados, chamados trihalometanos (THM).

Os THM constituem-se em quatro espécies de metano-halogenados: triclorometano (clorofórmio), diclorometano, dibromoclorometano e tribromometano (bromórfio) (Vide estruturas no ANEXO IV).

Na água bruta (sem qualquer tipo de tratamento), a ocorrência de ácidos fúlvicos e húmicos, oriundos da decomposição de folhas de vegetação, contribui para produção dos THM, por esta razão são tidos como precursores destes compostos. Estes ácidos possuem radicais cetona que ocasionam a formação de halofórmios após reação com cloro (MEYER *et. al*, 1994).

A partir do início da década de 70 diversos estudos toxicológicos e epidemiológicos realizados nos Estados Unidos comprovaram a correlação entre o emprego de compostos de cloro e as propriedades carcinogênicas dos subprodutos da desinfecção (BRASÍLIA, 2006). Os efeitos negativos dos THM sobre a saúde humana foram estudados pela primeira vez por R. H. Harris (SANTOS *et al.*, 1987). Os resultados positivos para incidência de câncer sobre consumidores de água clorada levaram a uma série de outras pesquisas em inúmeros países (MEYER *et. al*, 1994).

Tais pesquisas culminaram com a introdução, em 1979, pela United States Environmental Protection Agency (USEPA), da concentração máxima permissível de 0,1 mg/L dos compostos trihalometanos nas águas de abastecimento (BRASÍLIA, 2006). Até hoje este valor é exigido pela Portaria 518/04 do Ministério da Saúde para a concentração de THM total.

O aumento da preocupação com os níveis desses compostos presentes na água tem levado a amplas discussões sobre a legislação, a qualidade das águas brutas e as

práticas adotadas no tratamento e na distribuição da água em diferentes países.

A qualidade da água e sua origem são importantes em relação à formação de trihalometanos, já que este é um processo relacionado com a natureza do conteúdo orgânico da água (MEYER *et. al*, 1994).

A precloração, adotada nos Estados Unidos e no Reino Unido, por exemplo, leva a níveis mais altos de THM. Incrementos nas dosagens de cloro, às vezes necessários, também são contribuintes para um aumento nas concentrações destes compostos.

Existem métodos para o controle da formação de THM que vão desde a redução dos precursores (coagulação, oxidação com peróxido de hidrogênio, UV, ozônio ou ainda dióxido de cloro) até o uso de técnicas alternativas de desinfecção.

A importância dos THM, em nível mundial, prende-se ao fato de que, além de serem considerados carcinogênicos, são também indicadores da possível presença de outros compostos organoclorados (ácido acético clorado, haloacetonitrilos, cloropicrin, clorofenóis, cloropropanonas), também resultantes do processo de cloração das águas e mais perigosos que os próprios THM.

Em função dos riscos, a EPA (Environmental Protection Agency) estabeleceu, em dezembro de 1993, que 30 substâncias químicas são consideradas nocivas à saúde, dentre as quais se destacaram os THM (GRAY, 1994).

Cabe aqui ressaltar, que no Estado do Rio de Janeiro não há registros da ocorrência de concentrações de trihalometanos acima do valor máximo permitido (VMP) pela Portaria 518/04 nos Sistemas de Abastecimento de Água sob

responsabilidade da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE).

6. Alternativas para a Desinfecção

A substituição do cloro por outro desinfetante no tratamento de água pode trazer mais riscos que benefícios, considerando-se que a diminuição da incidência de doenças transmissíveis pela água somente foi alcançada com a difusão do emprego da técnica de cloração (MEYER *et. al*, 1994). Contudo, nada impede que outras alternativas sejam pesquisadas e implementadas.

Atualmente, as restrições ao uso indiscriminado do cloro como desinfetante concorreram para a intensificação do emprego de desinfetantes alternativos como amônia, ozônio, radiações ultravioletas, peróxido de hidrogênio, dióxido de cloro, entre outros. Entretanto, recentemente, outros trabalhos evidenciaram que também produtos como o dióxido de cloro e o ozônio levam à formação de moléculas que apresentam riscos à saúde a longo prazo (BRASÍLIA, 2006).

Diante das controvérsias sobre o uso do cloro e de seus derivados inorgânicos nos processos de desinfecção, houve um aumento na demanda de novas pesquisas de produtos e técnicas, capazes de minimizar os custos e potencializar resultados nesta área. Daí, surgem os derivados clorados de origem orgânica, cujo principal representante é o dicloroisocianurato de sódio, como uma alternativa para utilização em Sistemas de Abastecimento de Água (FILHO *et. al*, 2005).

A Resolução nº 150, de 28 de maio de 1999, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária que autoriza a utilização

do ácido dicloroisocianúrico e seus sais de sódio e potássio como princípio para desinfecção de água para consumo humano (BRASIL, 1999) confirma uma das conclusões do trabalho realizado por MACÊDO (1997), que é a indicação do produto para a desinfecção em água potável (MACEDO *et. al*, 2004).

Deve-se ressaltar que derivados clorados de origem orgânica, como o dicloroisocianurato de sódio (DCIS) e o ácido tricloroisocianúrico, foram Certificados. para serem utilizados em tratamento químico de água para abastecimento público pelo NSF (National Sanitation Foundation), dos Estados Unidos, em 2002 e o ácido tricloroisocianúrico em julho de 2001 recebeu o registro na EPA (Environmental Protection Agency) para desinfecção de água potável (NSF 2002; OXYCHEM, 2001a) (MACEDO *et. al*, 2004).

Um aspecto importante a ser ressaltado envolve informações sobre a toxicidade dos cloros orgânicos. Dados obtidos através do estudo de efeito sobre animais demonstram que os subprodutos da decomposição do ácido tricloroisocianúrico e do dicloroisocianurato de sódio na água, apresentam toxicidade menor que o próprio princípio ativo. Além disso, constatou-se que cianetos liberados em solução pelo DCIS são irrelevantes no aspecto de saúde pública (MACEDO *et. al*, 2004).

O que contribui para o aumento do uso de derivados clorados, de origem orgânica, é sua característica de não formar trihalometanos (THM) em níveis considerados significativos (MACÊDO *et al.*, 1997).

A eficiência e eficácia dos resultados da desinfecção por derivados clorados de origem orgânica já foram evidenciados por diversos pesquisadores (MACÊDO), contudo, os estudos da viabilidade econômica e da relação custo

benefício não foram enfatizados até a presente data (FILHO et. al, 2005).

A utilização de tratamentos específicos, visando à redução de subprodutos gerados durante a desinfecção, não deve, de forma alguma, significar uma diminuição na eficiência do processo, no que tange ao seu propósito básico de garantir às populações uma água isenta de microorganismos patogênicos.

VIII. IMPLICAÇÕES AMBIENTAIS

1. Efeitos sobre a Atmosfera

A camada de ozônio é uma região da atmosfera que constitui um "escudo solar natural da Terra" , uma vez que filtra os raios ultravioletas (UV) nocivos, provenientes do sol antes que possam atingir a superfície de nosso planeta, causando danos aos seres humanos e a outras formas de vida.

Assim, o aparecimento de um grande buraco na camada de ozônio sobre a Antártida, na metade dos anos 80, desencadeou uma crise ambiental.

Durante alguns anos, após esta descoberta, não estava esclarecido se o buraco era devido a um fenômeno natural envolvendo forças meteorológicas ou se era devido a um mecanismo químico envolvendo poluentes do ar. Dentro desta última possibilidade, a substância química suspeita era o cloro, produzido, principalmente, a partir de gases lançados no ambiente como resultado de sua utilização, como, por exemplo em aparelhos de ar-condicionado. Os cientistas haviam previsto que o cloro poderia destruir o

ozônio, mas apenas em pequena extensão e somente após um período de várias décadas (BAIRD *et al.*, 2002).

Como resultado de uma pesquisa realizada em 1986 por meio de uma expedição americana enviada à Antártida e de investigações subseqüentes, constatou-se que o buraco na camada de ozônio de fato era ocasionado pela poluição por cloro. Mais precisamente, através de ciclos catalíticos envolvendo seus radicais livres os quais são conservados no processo, destruindo muitas moléculas de ozônio antes de ser removidas.

A Figura 13 apresenta um esquema da destruição do ozônio, por radicais livres de cloro, na estratosfera.

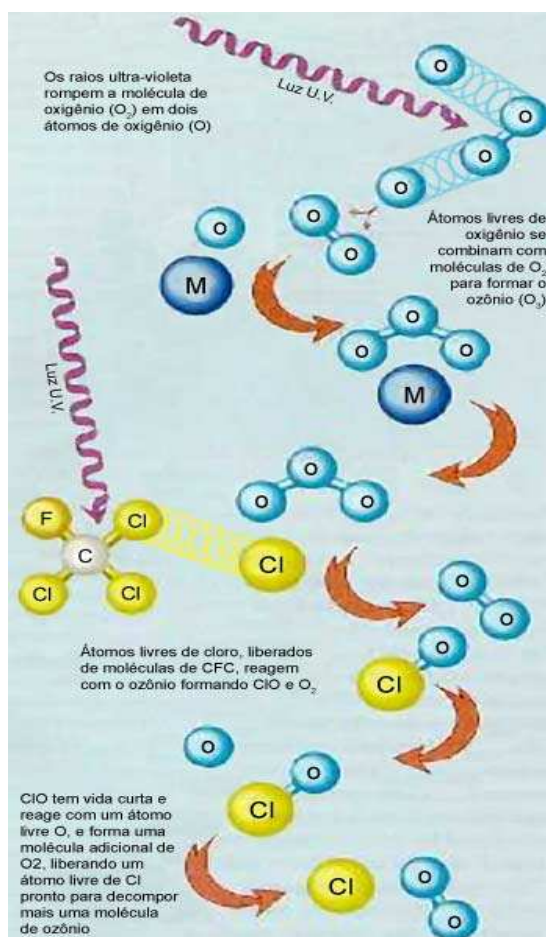


Figura 13. Esquema da destruição do ozônio pelo cloro na estratosfera.
(nasa.gov)

Em decorrência destas descobertas, governantes do mundo inteiro mobilizaram-se no sentido de, gradualmente, interromper a fabricação de produtos químicos capazes de agravar a situação, evitando o desenvolvimento de uma depleção de ozônio ainda maior.

Deve-se lembrar que a liberação do cloro elementar não desempenha qualquer papel na redução da camada de ozônio.

Embora a comunidade científica não tenha todas as respostas para a química do cloro na atmosfera, extensas investigações permitem alguma previsibilidade do seu comportamento. Quando o cloro gasoso é disperso no ar, as moléculas reagem na troposfera com vapores de água, oxigênio e outras substâncias.

Os cientistas já concluíram que o dano à camada de ozônio é causado por alguns compostos clorados sintéticos (organoclorados) altamente estáveis.

Dentro desta classe de compostos podem ser referenciados os clorofluorcarbonetos (CFCs). Na década de 80, cerca de um milhão de toneladas de CFCs foram emitidas por ano na atmosfera (BAIRD *et al.*, 2002). Esses compostos são atóxicos, não-inflamáveis, não-reativos e com propriedades úteis de condensação. Estas características permitem uma grande variedade para uso industrial.

A conscientização crescente sobre a gravidade do acúmulo de cloro na atmosfera gerou acordos para eliminar gradativamente a produção mundial de CFCs. O início deste processo levou a uma conferência em Montreal que culminou na elaboração do Protocolo de Montreal, reforçado, ainda por decisões tomadas em outras conferências que se sucederam (BAIRD *et al.*, 2002).

Como resultado desse acordo internacional, todos os produtos químicos depletivos de ozônio deveriam ser proibidos em todas as nações. A produção legal dos CFCs terminou, nos países desenvolvidos em 1995. Aos países em desenvolvimento, foi concedido um prazo até o ano de 2010 (BAIRD *et al.*, 2002).

2. Efeitos sobre o Solo e Corpos Hídricos

Outras substâncias de preocupação mundial são os compostos organoclorados denominados poluentes orgânicos persistentes (POPs). Estes compostos são resistentes à decomposição ou degradação ambiental, permanecendo no ambiente por longos períodos de tempo e cujos efeitos sobre a saúde são agravados à medida que se movem pela cadeia alimentar (biomagnificação).

Entre estes compostos estão os pesticidas (DDT, Clordano, Toxafeno, Dieldrin, Aldrin, Endrin, Heptacloro e Mirex) que são agrotóxicos organoclorados de uso proibido ou severamente restrito na maioria dos países; as dioxinas e os furanos que são subprodutos da combustão e de processos envolvendo produção, uso e disposição de organoclorados, tais como a incineração de lixo e a produção do plástico PVC (Policloreto de vinila); e as Bifenilas Policloradas (PCBs) que devido às suas propriedades isolantes foram usados como fluidos refrigerantes e isolantes nos transformadores e capacitores (KAMPA *et al.*, 2007; BUENO *et al.*, 2007).

As dioxinas e os furanos estão entre as substâncias de maior potencialidade cancerígena conhecidas, representando um risco muito grande à saúde e ao meio ambiente. Por isso, esses elementos estão listados na Convenção de Estocolmo

sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, e precisam ser medidos, monitorados e reduzidos drasticamente para eliminar os riscos à população. A Figura 14 apresenta um gráfico das principais fontes de emissão de dioxinas no mundo (UPAN, 2009).

Principais fontes de emissão de dioxinas no mundo

(dados de datas entre 1995 e 2005)

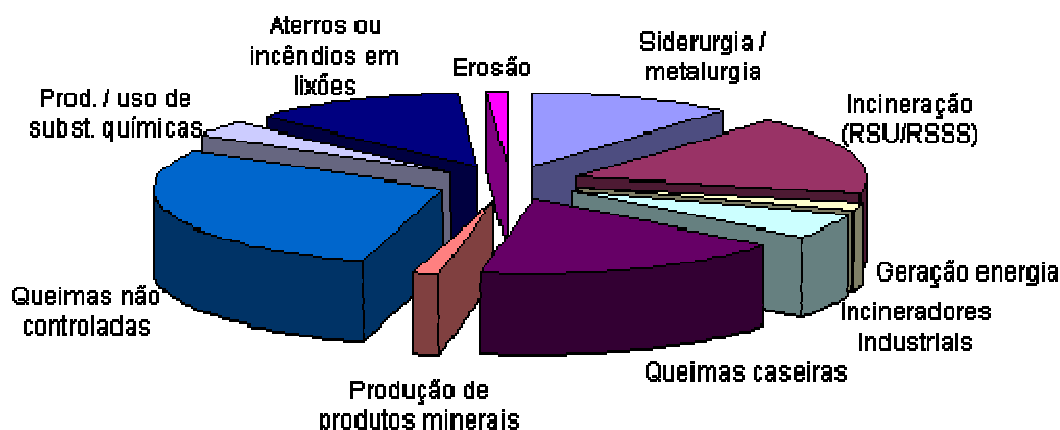


Figura 14. Gráfico das principais fontes de emissão de dioxinas no mundo. (UPAN, 2009)

3. Busca por Soluções

Visando à prevenção e/ou inibição da degradação ambiental e dos constantes riscos aos quais as populações estão expostas, gradativamente vêm se aumentando as restrições e até mesmo proibições de alguns produtos nos processos industriais.

O sentimento da responsabilidade ambiental e a consciência ecológica cederam espaço a um movimento entre os químicos que começou a promover a chamada química verde. Este conceito abrange a síntese, processamento e uso de produtos químicos que reduzam danos às pessoas e ao

ambiente (BAIRD *et al.*, 2002) e a coibição da produção dos produtos perigosos.

Considerando o cloro sob esta ótica, não significa uma proibição expressa do seu uso. Dado o fato de a química do cloro ter invadido todos os cantos da economia, seria desastroso por fim à produção e utilização do cloro e dos organoclorados do dia para a noite. A única abordagem prática é um processo planejado para substituí-lo, gradualmente, por tecnologias alternativas mais limpas, avaliando e selecionando as melhores, bem como minimizando e compensando as eventuais perturbações econômicas que esta substituição possa provocar (THORNTON *et al.*, 2000).

O primeiro passo para o paradigma ecológico ideal é uma política de intervenções restritivas e fiscalizações por parte dos governos e entidades responsáveis. Mas não menos importante é fomentar o debate nas diversas esferas da sociedade, estimular a participação e a contribuição pessoal para um ambiente mais limpo, sabendo-se que para promover ações efetivas dos indivíduos é necessário se ter como base a educação como um todo e, neste novo cenário, educação ambiental.

IX. ABORDAGEM DIDÁTICO-PEDAGÓGICA:

ELEMENTO MOTIVADOR NO ENSINO DE QUÍMICA

Tendo em vista toda a explanação acerca da química do cloro, importância, aplicações e implicações, é possível depreender uma série de temas geradores e motivadores para o ensino de Química.

Seguindo a linha proposta nos PCNEM (Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio), que se

contrapõe ao método tradicional da ênfase na memorização de conceitos, nomes e fórmulas, este trabalho abrange aspectos que devem ser abordados em consonância com a realidade dos alunos e não, meramente, como fragmentos disso.

O aprendizado de Química deve se apresentar como um meio de prover a formação de um ser humano crítico e apto a interpretar o mundo e a intervir no contexto social em que esteja inserido. Os conhecimentos químicos a serem adquiridos e assimilados quanto à compreensão dos processos e construção do conhecimento científico são, então, ferramentas que viabilizam o estreitamento em relação à aplicação prática no desenvolvimento tecnológico, político, social e econômico (BRASIL *et.al*, 1999).

Desta forma, as escolhas sobre o que ensinar devem ser pautadas na seleção de temas e conteúdos relevantes frente ao mundo em que se vive, exigindo do professor um tratamento adequado para tal.

O desenvolvimento das competências e habilidades dos alunos, no processo de ensino-aprendizagem, pode ser promovido segundo três domínios estruturadores na prática de ensino: representação e comunicação; investigação e compreensão; contextualização sócio-cultural.

Algumas características e especificidades destas abordagens são explicitadas, a seguir, correlacionando-se com o conteúdo temático deste trabalho:

- o **Representação e Comunicação**

- Símbolos, códigos e nomenclatura de ciência e tecnologia: o reconhecimento e compreensão de símbolos, códigos e nomenclatura própria da Química e da tecnologia química podem ser explorados na

interpretação de termos e símbolos em rótulos de produtos de limpeza como a água sanitária, a própria forma inadequada de se referir ao produto como sendo cloro, pode-se aproveitar para explorar a articulação destes símbolos através das fórmulas químicas e nomenclaturas como maneira de se apresentar as diferenças.

- Análise e interpretação de textos e outras comunicações de ciência e tecnologia: pode-se estimular o aluno a analisar e interpretar diferentes tipos de texto referentes ao conhecimento químico, como por exemplo, o reconhecimento de informações de caráter químico em reportagens e artigos sobre agrotóxicos (pesticidas) aqui mencionados e interpretá-los em termos de implicações estabelecendo relação com a crescente procura pelos chamados produtos orgânicos, estimular análise do significado deste novo conceito, bem como incentivar a consulta e pesquisa em diferentes fontes de informação.

- Discussão e argumentação de temas de interesse de ciência e tecnologia: incentivar a argumentação diante de informações ou problemas relacionados à Química, por exemplo, diante dos inconvenientes da utilização do cloro no tratamento de água, possibilitar o posicionamento com relação às vantagens e desvantagens, abordando tanto aspectos econômicos como aspectos de saúde, justificando a manutenção do seu emprego no processo. Na própria

obtenção do cloro, discutir a relação entre baixo custo e implicações ambientais.

o **Investigação e Compreensão**

- Estratégias para enfrentamento de situações-problema: dada uma situação problema, envolvendo diferentes dados de natureza química, identificar as informações relevantes para solucioná-la, no caso, como citado no capítulo VI, a avaliação da viabilidade de uma fonte de água para consumo, identificando aspectos biológicos entre outros, e o reconhecimento e proposição de uma solução para o problema, definindo critérios de potabilidade e adotando medidas simples como uma análise qualitativa da presença de cloro.
- Interações, relações e funções; invariantes e transformações: identificar transformações químicas pelas mudanças dos materiais; um excelente gancho neste sentido está na interpretação do efeito corrosivo nas tubulações de água, abordar as reações de oxirredução envolvidas, compreendendo o fenômeno da corrosão.
- Relações entre conhecimentos disciplinares, interdisciplinares e interáreas: articular e integrar o conhecimento químico e de outras áreas no enfrentamento de situações-problema; neste trabalho pode-se destacar como exemplo a identificação e relação dos aspectos químicos e biológicos sobre o tratamento de água com ênfase no

aspecto social de manutenção da qualidade de vida e aumento da expectativa de vida com a redução da incidência de doenças de veiculação hídrica.

o **Contextualização sócio-cultural**

- Ciência e tecnologia na história: perceber o papel desempenhado pela Química no desenvolvimento tecnológico e humano e estabelecendo a relação entre ciência e tecnologia ao longo da história; pode-se usar como exercício para tal a utilização do cloro como arma química durante a Guerra Mundial, incentivar a pesquisa sobre a utilização do conhecimento científico como propulsor para combates bélicos, levantando o contexto histórico em que estejam inseridos, avaliando criticamente as vantagens e desvantagens da aplicação da química sob este prisma e discutir as questões éticas envolvidas.
- Ciência e tecnologia na cultura contemporânea: identificar a presença do conhecimento químico na cultura humana contemporânea em diferentes âmbitos, incluindo o doméstico, tendo como exemplo receitas caseiras para a limpeza; este tipo de levantamento em sala de aula, contribui para a identificação de riscos oferecidos por uma manipulação inadequada de produtos químicos, exigindo orientações e esclarecimentos que podem ser feitos à luz dos conhecimentos químicos, um exemplo, são misturas de produtos de limpeza com água sanitária, que possam conter ácido oferecendo riscos de intoxicação.

Outro ponto, é poder promover uma discussão que desmistifique o senso comum de que produtos químicos são apenas nocivos.

- Ciência e tecnologia na atualidade: reconhecer aspectos relevantes no conhecimento químico e suas tecnologias na interação individual e coletiva do ser humano com o ambiente em que vive, por exemplo o uso de CFC, inseticidas e agrotóxicos e aditivos químicos ao tratamento de água; reconhecer o desenvolvimento tecnológico como contribuinte para o conforto dos indivíduos e promover a análise dos impactos. Dentro deste contexto podem ser abertas discussões sobre a química verde, falar de equipamentos refrigeradores, por exemplo, que trazem o mesmo conforto com redução de impactos ao ambiente. Estimular a discussão sobre os aspectos do cotidiano da sociedade contemporânea que envolvem a aplicação de conhecimentos químicos.
- Ciência e tecnologia, ética e cidadania: reconhecer as responsabilidades sociais decorrentes da aquisição de conhecimento científico. Neste sentido, reconhece-se a necessidade de estimular os alunos a disseminar o conceito da preservação dos recursos hídricos como forma de defesa da qualidade de vida, sob o ponto de vista ambiental econômico. Isto foi tratado no item 2, do capítulo VII, ressaltando a necessidade de educação sanitária e ambiental. O aspecto ético também pode ser depreendido no capítulo VI, quando se fala da venda de produtos de limpeza clandestinos. Neste momento

pode-se estimular uma discussão em torno da aquisição de produtos deste nível, destacando princípios dos direitos do consumidor, que não tem a quem recorrer quando lesados pelo fato do produto não exercer a função de forma desejada ou oferecer danos à saúde do consumidor.

Através destes enfoques, evidencia-se a relevância do tema para o ensino de Química, estando presentes, além dos mencionados, outros aspectos a serem abrangidos para o desenvolvimento dos conteúdos da disciplina. Percebe-se também, claramente, como os temas transversais "passeiam" ao longo deste trabalho: saúde, ética, meio ambiente.

X. CONCLUSÃO

Neste trabalho, discorreu-se sobre diversos aspectos da química de um dos elementos mais combatidos e ao mesmo tempo mais benéficos ao ser humano. Contrapondo-se as vantagens e desvantagens frente a todas as possibilidades da sua utilização, é inevitável a constatação da sua notória contribuição para o desenvolvimento tecnológico, econômico e social. Ainda assim, torna-se evidente, a necessidade de se estabelecer critérios para o uso adequado do cloro e de seus compostos como meio de se evitar danos à saúde e ao meio ambiente. Estas substâncias, com suas características tóxicas, servem como um bom exemplo de que somente com elevado grau de conhecimento químico é que se pode tirar proveito da tecnologia.

A utilização do cloro, dentro deste contexto, como tema motivador para o ensino de Química, promove o debate em sala de aula e um aprendizado integrado com a realidade.

Dentro da perspectiva pedagógica, em face a toda esta explanação, depreende-se uma infinidade de abordagens valiosas para promover a compreensão e construção do conhecimento químico no ambiente escolar, culminando na formação de indivíduos conscientes e críticos, que poderão contribuir para um mundo melhor.

Com tudo isso, pode-se concluir a relevância do tema proposto como mais uma ferramenta de estímulo para o estabelecimento de uma relação entre ensino e aprendizagem contextualizados, corroborando para a desmistificação da química e dos produtos químicos, bem como combatendo o senso comum que muitas vezes se choca com o conhecimento, criando barreiras e retardando o progresso da sociedade.

XI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BAIRD, C., 2002; Química Ambiental; trad. Recio, M. A. L., Carrera, L. C..

BASU, T. K, Dickerson, J. W., CAB International, 1996; Vitamins in Human Health and Disease.

BRASIL, Ministério da Saúde. Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde. - Brasília : Ministério da Saúde, 2006.

BRASIL, Ministério da Educação. *Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio*. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica - Brasília: MEC, 1999.

BUENO, P. G.; Camargo, M. C. R.; Catarino, T. T. M., 2007; Os Efeitos dos Poluentes Orgânicos Persistentes na Saúde Humana e no Meio Ambiente; Trabalho Técnico, II Simpósio Internacional em Gestão Ambiental e Saúde, SENAC, SP.

CHLORINE INSTITUTE PANPHLET 90, 1999;
<http://www.chlorineinstitute.org/files/PDFs/ChlorineEffectsOnHealth.pdf> - acessado em julho de 2009.

COLORSUR, 2009; <http://www.clorosur.org/?a=canal&id=35> -
acessado em março de 2009.

FILHO, D. G., 2005; Dicloroisocianurato de Sódio, Derivado
Clorado de Origem Orgânica uma Solução Economicamente
Viável para o Processo de Desinfecção de Água Potável.
Estudo de Caso na USA - Sistema Integrado Paraguassu
Milagres. Trabalho Técnico -23º Congresso Brasileiro de
Engenharia Sanitária e Ambiental.

FRANCO, G., 1999; Tabela e Composição Química dos
Alimentos.

INMETRO, 2009;
http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/agua_sanitaria2.asp#consumidor - acessado em maio de 2009.

KAMPA, M.; Castanas, E., 2007; Human health effects of air
pollution; Environ. Pollut.

MABAN, L. K., Escott-Stump, S., 1998. Alimentos, Nutrição
e Dietoterapia.

MACÊDO, J. A. B. de, 2004; Processo de Desinfecção com
Derivados Clorados Orgânicos em Água para Abastecimento
Público - Caderno Técnico Suplemento de Hidronews.

MEDEIROS, M. A., 2004; Software QuipTabela 4.01.

MEYER, S. T, 1994. Chlorine Use in Water Disinfection, Trihalomethane Formation, and Potential Risks to Public Health. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 10 (1): 99-110, Jan/Mar.

NORTHWESTERNUTRITION FACT SHEET, 2009;
www.feinberg.northwestern.edu/nutrition/chlorine.html -
acessado em abril de 2009.

SHRIVER, D. F., ATKINS, P. W., trad. Gomes, M. A., 2003;
Química Inorgânica, 3ª ed.

THORNTON, J., 2000; Pandora's Poison: chlorine, health,
and a new environmental strategy.

WEBELEMENTS, 2009; <http://www.webelements.com/chlorine> -
acessado em abril de 2009.

WIKIPEDIA, 2009; <http://pt.wikipedia.org/wik> - acessado em
março a julho de 2009.

ANEXO I

REPORTAGEM DA REVISTA PROTEÇÃO: BANIMENTO MUNDIAL DOS
DIAFRAGMAS DE AMIANTO NA INDÚSTRIA DE CLORO-ÁLCALI.

PREVENÇÃO

Proibição urgente

Banimento mundial dos diafragmas de amianto na indústria de cloro-soda é necessário

► Fernanda Giannasi

Quando a União Europeia adotou a Diretiva 1999/77/CE, de 26 de julho de 1999, que introduziu nos Estados membros a proibição de novas aplicações do amianto crisotila em seus territórios a partir de janeiro de 2005, houve uma única exceção referente aos diafragmas para produção de cloro e soda, nas instalações industriais já existentes. Os diafragmas são utilizados como meios de separação permeáveis no processo de eletrólise – separação iônica por passagem de corrente elétrica em solução condutora, liberando cloro, soda e hidrogênio e tendo como subprodutos o ácido clorídrico, dicloroetano, hipoclorito de sódio, entre outros. A justificativa para tal decisão foi que o risco de exposição neste setor seria “extremamente” baixo, sendo necessário mais tempo para desenvolver alternativas adequadas a esta aplicação crítica em matéria de segurança e que a Comissão Europeia revisará esta exceção até 2008, uma vez consultado o Comitê Científico de Toxicidade, Ecotoxicidade e Meio Ambiente.

Chamou-nos particular atenção o release veiculado no website da Comissão Europeia, sob o título *A Comissão Europeia Bane o Amianto Branco*, que dizia categoricamente: “Todas as formas de amianto são comprovadamente carcinogênicas. Elas podem causar asbestose (fibrose ou cicatrização grave do tecido pulmonar), câncer de pulmão e mesotelioma (câncer da pleura – isto é, do tecido que reveste o pulmão). Cinco ou seis tipos de amianto já foram proibidos na União Europeia em 1991. No caso do amianto branco, o qual é ainda usado em produtos de cimento-amianto, levou-se mais tempo para desenvolver substitutos apropriados, que fossem menos nocivos à saúde humana”. E, mais adiante, continuando, que “a única exceção à proibição do amianto é para a crisotila em



diafragmas, os quais são usados para eletrólise em algumas indústrias de cloro. Os diafragmas são um caso especial porque eles são o único uso corrente do amianto crisotila para o qual não é tecnicamente possível substituir sem criar um problema de segurança (isto é, risco de explosão). Por outro lado, o risco à saúde humana e ambiental deste uso do amianto crisotila é extremamente baixo porque isto é realizado em processo enclosurado. Diafragmas não são comercializados. Esta única exceção será revista (com base numa avaliação científica de risco independente) durante a revisão geral planejada da diretiva em 2003 e de novo, especificamente, em 2008”.

Embora já existam alternativas factíveis de substituição, como a tecnologia de membranas não-permeáveis de troca iônica, que substituem com eficiência

tanto os diafragmas permeáveis de amianto como as células de mercúrio, as razões para esta “única exceção” se prendem aos aspectos econômicos envolvidos para a eliminação do amianto nestas plantas industriais e ao poderoso lobby exercido pelos produtores junto à Comissão Europeia. A indústria de cloro-soda na Europa Ocidental produz em média 20 milhões de toneladas por ano, sendo 11,5 milhões de toneladas de cloro.

Os mais recentes dados fornecidos pelas empresas mostram 85 plantas industriais de cloro-soda na Europa Ocidental, distribuídas em 20 países, incluindo Suíça e Noruega, que não fazem parte oficialmente da União Europeia. Nove destas empresas usam tecnologia de diafragma de amianto no processo eletrolítico, que corresponderam, em 2004, a 17,4% da produção de cloro na Europa, contra 33,1% por membrana, 47% por mercúrio e 2,5% por outras tecnologias. A Alemanha continua sendo o maior produtor de cloro da Europa, correspondendo a 48,9%, seguido pela França (16,1%), Bélgica e Holanda (15%).

Nota-se, claramente, que embora tenha havido redução no uso de diafragmas de amianto nas plantas industriais europeias e sua substituição tem sido prevalentemente pela tecnologia de membrana de troca iônica, esta substituição tem sido muito mais lenta do que se desejava, pois, em 1996, o uso do amianto correspondia a 24% da produção de cloro; em 2000, 23%; 2003, 18% e atualmente, 17,4%. Mantido este ritmo de substituição gradual, serão necessários mais 24 anos para a eliminação total do amianto em diafragmas na produção europeia de cloro-soda, o que é, por nós, considerado inaceitável, tendo em vista haver alternativas viáveis técnica e economicamente, e muito menos nocivas à saúde humana.

BRASIL

O Brasil produziu 1,2 milhões de toneladas de cloro e 1,3 milhões de soda cáustica

Fernanda Giannasi – engenheira civil, auditora fiscal do Ministério do Trabalho e Emprego no Estado de São Paulo, fundadora da ABREA (Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto) e coordenadora da Rede Virtual-Cidada pelo Banimento do Amianto para a América Latina: fern.giannasi@terra.com.br

tica em 2004, possuindo oito plantas industriais, sendo 72% à base de tecnologia de diafragma de amianto, 23% por mercúrio e 5% por membrana. No total, são três as empresas que utilizam a tecnologia de produção de cloro-soda através de diafragmas de amianto: Braskem, Dow Brasil e Carbocloro, correspondendo a 72% da produção de cloro no país.

A indústria de cloro-soda brasileira consumiu 128 toneladas de amianto crisotila no ano de 2003. Sua importância, portanto, nas discussões em curso sobre o banimento do amianto no Brasil, é muito mais política do que econômica, já que é um setor empresarial estratégico e com fortes influências sobre a classe política governante e suas decisões. Este debate político poderá continuar bloqueado e adiado se não houver suficiente pressão dos movimentos sociais, pois já somos o quarto maior produtor mundial com 252 mil toneladas em 2004, que representam 11,1% do amianto explorado em todo mundo, atrás somente da Rússia (39,5%), Cazaquistão (15,8%) e China (15,4%) e à frente do Canadá, que até recentemente era um dos maiores produtores e exportadores do mundo. De um modesto exportador de fibra in natura em 1997 (63.164 toneladas), o Brasil, de 2003 para cá, deu um salto para 65% na sua produção (163.620 toneladas) em 2004, exportando principalmente para Tailândia (31,4%), Índia (18,2%), Indonésia (14,2%) e Irã (11,5%).

A posição que defendemos é a de que o risco de exposição ao amianto neste setor produtivo não é inferior ao presen-

te em outras atividades, já proibidas pela referida Diretiva 1999/77/EC e por leis municipais e estaduais no Brasil. Os estados de Mato Grosso do Sul, São Paulo, Rio de Janeiro, Rio Grande do Sul, Pernambuco e Mato Grosso aprovaram leis proibindo o uso do amianto crisotila em qualquer de suas utilizações. Além disso, 17 leis municipais que proíbem o uso do amianto, estão vigentes só no Estado de São Paulo. Nos embasamos em nossa experiência na Inspeção do Trabalho que nos levou a concluir que não há razão técnica que justifique ampliar esta prorrogação além do prazo de 1º de janeiro de 2008, mantendo a demanda de produção do mineral cancerígeno exclusivamente para atender a este setor.

DEMOCRACIA

As razões econômicas não devem, portanto, prevalecer diante do custo social e ambiental representado pela continuidade do uso do amianto por este setor produtivo. Com o declínio da produção canadense, que praticamente reduziu em um terço sua produção nos últimos 15 anos, passando de 685.627 toneladas em 1990 para 200.000 toneladas em 2004, restarão a países em desenvolvimento como Brasil, Zimbábue, Rússia, China e Cazaquistão suprir este mercado remanescente, se não se tomar uma medida urgente que impeça a continuidade da demanda por diafragmas de amianto. Nestes países, os processos de redemocratização ou são recentes ou muito incipientes e frágeis, inexistindo legislações eficientes de proteção à saúde dos traba-

lhadores e muito menos qualquer forma de controle social, o que nos leva a crer que apenas sociedades de democracia frágil continuarão a utilizar o amianto crisotila, já que mais de 40 países o proibiram totalmente.

A democracia é, portanto, incompatível com o uso do amianto, pois a sua defesa se baseia em pesquisas de duvidosa metodologia e fontes de custeio bancadas pelas próprias empresas interessadas nos resultados e no uso de meios inaceitáveis em sociedades plenamente democráticas, tais como criminalização dos movimentos sociais que lutam pelo banimento do amianto, chantagem às vítimas, prática de corrupção e outros atos abomináveis.

A sociedade civil organizada global tem de continuar a pressionar a União Europeia, que tem um papel fundamental neste debate, através de seu Comitê Científico de Toxicidade, Ecotoxicidade e Meio Ambiente, para não permitir adiar além de 2008 esta necessária e improrrogável decisão pela proibição do amianto em diafragmas no setor de cloro-soda, como em todos os outros usos, em nações que ainda não adotaram medidas para restringi-los, impedindo que se mantenha a mineração da fibra cancerígena em países pobres e sócio-ambientalmente vulneráveis, justificando a sua necessidade para atender à demanda deste importante parque industrial. Uma proibição mundial imediata da produção, comercialização e de todos os usos do amianto é esperada, completamente justificada e absolutamente necessária. ■



Trabalhamos com toda linha de Instrumentos de Avaliação Ambiental, Higiene e Segurança do Trabalho



- * Anemômetros
- * Barômetros
- * Bomba de amostragem (Ar, Gases e Vapores)
- * Bombas para tubos colorimétricos
- * Calibradores
- * Decibelímetros
- * Dosímetros de Ruído
- * Estações Meteorológicas
- * Explosímetros
- * Higrômetros
- * InfraRed
- * Localizadores de Vazamentos
- * Luxímetros
- * Medidores de PH
- * Medidores de Vibração
- * Monitores de Gás
- * Medidor de IBUTG
- * Termômetros, entre outros.




Trabalhamos com os cartões Visa e Mastercard.

HISeg Instrumentos de Medição Ltda
 Rua Pirituba, Nº 65 - Praça da Árvore - Cep 04052-120 - São Paulo - SP
 Telefones: (11) 5071-9811 / 5585-9893 / 5599-3329 / Fax: (11) 5583-2735
 Visite nosso site: www.hiseg.com.br / [vendas@hiseg.com.br](mailto: vendas@hiseg.com.br)

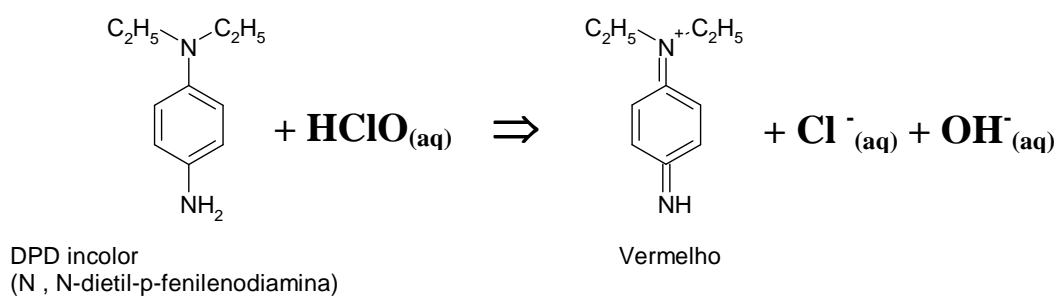
Exclusivo sistema de atendimento ao vivo pela internet (chat), para tirar dúvidas, suporte técnico e treinamentos operacionais.



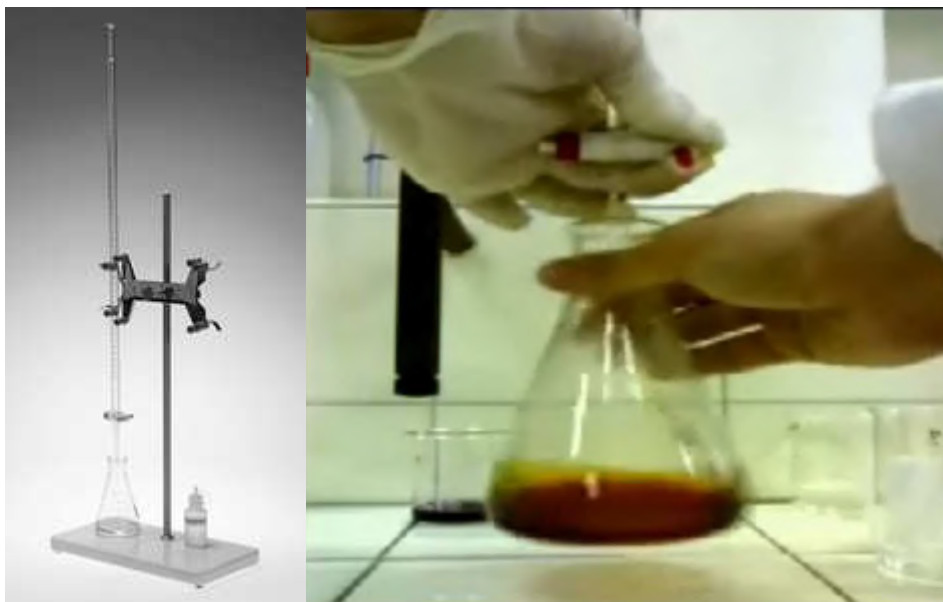
ANEXO II

ALGUNS MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DO CLORO NA ÁGUA TRATADA

DETERMINAÇÃO ESPECTROFOTOMÉTRICA DO CLORO RESIDUAL LIVRE EM
ÁGUA TRATADA



DETERMINAÇÃO IODOMÉTRICA DO CLORO ATIVO
(TITULAÇÃO - MÉTODO CLÁSSICO)



TITULAÇÃO AUTOMÁTICA



ANEXO III

REVISTA VEJA: EDIÇÃO ESPECIAL MILÊNIO DESTACA O USO DE FILTRAÇÃO E DO CLORO NA ÁGUA POTÁVEL COMO UM DOS AVANÇOS MAIS IMPORTANTES DO MILÊNIO NA ÁREA DE SAÚDE PÚBLICA.

1829

nº 46

A purificação da água

Uma pessoa consome 60 000 litros de água na vida. Antes de 1829, quando a Chelsea Water Works de Londres instalou um filtro de areia no Rio Tâmisa, ninguém purificava a água direitinho. Mesmo depois de 1829, a maior parte da água potável continuou sem filtragem e as epidemias de cólera e tifo faziam do saneamento uma questão urgente. Por fim, em 1854, o médico John Snow, embora ignorando a existência de bactérias transportadas pela água, descobriu que a origem de um surto de cólera era uma fonte muito próxima de um esgoto. A filtragem da água potável e o uso do cloro são talvez os avanços mais importantes do milênio na área de saúde pública.

Água limpa
impediu em 80%
as mortes por tifo
e outras doenças
transmissíveis



LENIN DE PEDRA COMO UM SÍMBOLO DE UMA REVOLUÇÃO FRACASSADA

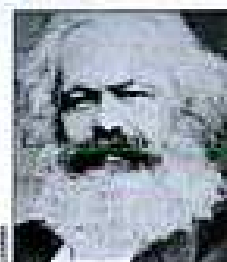
1917

nº 45

Estrela vermelha no céu da Rússia

O primeiro país a tentar o sonho de Karl Marx de um Estado dos trabalhadores era uma terra pobre com muito mais camponeses que proletários. Castigada pelos desastres militares e pela escassez de alimentos da I Guerra Mundial, a Rússia explodiu em fevereiro de 1917. Os rebeldes tomaram a capital, São Petersburgo, a Duma, o Senado, e depuseram o inepto e repressor czar Nicolau II. O novo governo, chefiado pelo socialista Alexander Kerenski, não aceitou tirar a Rússia da guerra. Em outubro, ele foi derrubado pelos militantes bolcheviques, cujo líder, Vladimir Lenin, fez a paz em separado com a Alemanha, mudou a capital para Moscou, aboliu a propriedade privada e suprimiu a igreja. Seus comandados assassinaram Nicolau e sua família. Em 1920, depois de três anos de guerra civil, o monopólio comunista do poder estava completo.

A União Soviética, como passou a se chamar a nova nação, modernizou-se com rapidez incrível. As massas ganharam educação e saúde gratuitas. O preço foi assustador: milhões de mortos em experiências econômicas mal-sucedidas e expurgos sangrentos; gulags, campos de concentração para prisioneiros políticos; uma cultura alagada pela ideologia totalitária. A rivalidade entre a União Soviética e os Estados Unidos dominou o cenário político mundial, causou inúmeras guerras locais e ameaçou a humanidade com a hecatombe nuclear. A URSS acabou em 1989, quando o bloco soviético se desintegrou devido a suas "contradições internas", exatamente como Marx havia previsto que aconteceria com o capitalismo.



Karl Marx

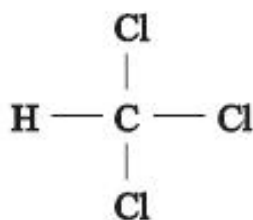
1818-1883

EMBORA NÃO FOSSE UM MEMBRO DA CLASSE OPERÁRIA COMO A QUAL TEÓRICO, KARL MARX NEGOU OS PRÓPRIOS CONSELHOS E RENUNCIOU A SUAS RAÍZES BURGUESAS. PERSEGUIDO NA ALEMANHA, FUGIU PARA A FRANÇA, DEPOIS PARA A INGLATERRA, ONDE VIVOU DA MÃO PARA A BOLA E DEDICOU-SE AO JORNALISMO POLÍTICO, SUSTENTADO POR SEU PROTETOR E COLABORADOR, FREDERICH ENGELS. A VISÃO DE MARX DE UM MUNDO PÓS-CAPITALISTA EM QUE A CLASSE OPERÁRIA SERIA PROPRIETÁRIA DOS MEIOS DE PRODUÇÃO NÃO SE CONCRETIZOU. MAS SUA CRÍTICA AO SISTEMA DE CLASSES INSPIROU MILHÕES DE PESSOAS.

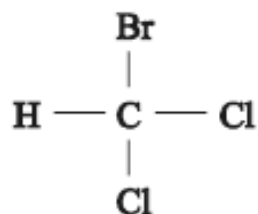
Especial do Milênio - veja 75

ANEXO IV

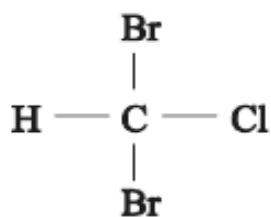
ESTRUTURAS DOS PRINCIPAIS TRIHALOMETANOS PRESENTES NA ÁGUA
DE ABASTECIMENTO PÚBLICO



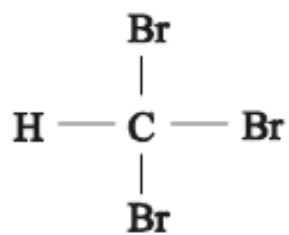
triclorometano
(clorofórmio) CHCl_3



bromodiclorometano
 CHBrCl_2



dibromoclorometano
 CHBr_2Cl



tribromometano
 CHBr_3